

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TECNICA SUPERIOR

NEKAZARITZAKO INGENIARIEN

DE INGENIEROS AGRONOMOS

GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO

Influencia de diferentes dietas en la composición nutricional del insecto comestible *Tenebrio molitor* y estudio de su pardeamiento

presentado por

EDURNE MENDAZA LAINEZ^(e)k

aurkeztua

GRADO EN INNOVACIÓN EN PROCESOS Y PRODUCTOS ALIMENTARIOS

GRADUA ELIKAGAIEN PROZESU ETA PRODUKTUEN BERRIKUNTZAN

Septiembre, 2017 / 2017, Iraila

ABSTRACT

The growing world population, urbanization and *per capita* income along with the ever-concerning environmental problems, require more sustainable food production. Nowadays, the use of insects as food and feed has enjoyed an extraordinary surge of interest in Europe, where it could both solve the so forecasted "protein crisis" and benefit the environment through incorporation into circular economy systems. The mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), is one of the most promising species as an edible insect for food and feed. In this work, the effect of different diets on the development, food conversion rates of mealworms were determined while the nutritional composition in terms of moisture, lipids and vitamin A obtained from dehydrated mealworm larvae was quantified. With this aim, three groups of larvae were fed with wheat bran and one of three different vegetable wastes. Three additional larval groups were fed the same diets and vegetables were substituted by fish for 24 h. No significant differences in the growth or food conversion rates among insects fed with different vegetables were observed, indicating the appropriateness of the vegetables as water and vitamin sources for the rearing of mealworms. In addition, the amount of vitamin A and lipids seemed to increase in insect powder obtained from carrot-fed and fish-fed larvae, respectively. The browning experienced by larvae in the drying process was also studied at different temperatures and times. There were no differences between their kinetics at 40, 50 and 60 °C. A previous blanching inhibited the browning significantly. In sum, the chemical composition of *T. molitor* can be manipulated by the diet to adapt it to nutritional demands and to improve the use of insects as food and feed.

Tenebrio molitor, edible insects, waste bioconversion, nutritional composition, browning kinetics

El rápido crecimiento de la población mundial, urbanización y de la renta *per cápita* unido a la escasez de recursos naturales requieren una producción alimentaria más sostenible. El interés por el uso de insectos como alimento y pienso está aumentando en Europa ya que podría ser una solución a la denominada "crisis de proteínas" además de beneficiar al medioambiente introduciéndose en la economía circular. *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), es una de las especies más prometedoras como insecto comestible. En este trabajo se determinó el efecto de diferentes dietas sobre el desarrollo, las tasas de conversión alimenticia de *T. molitor* y se cuantificó la composición nutricional en términos de humedad, lípidos y vitamina A de las larvas de este insecto deshidratado. Con este objetivo, tres grupos de larvas se alimentaron con salvado de trigo y un desecho vegetal distinto. Además, otros tres grupos de larvas se alimentaron con las mismas dietas y las verduras se sustituyeron por pescado durante 24 h. No se observaron diferencias significativas en el crecimiento o tasas de bioconversión entre los insectos alimentados con diferentes hortalizas, lo que indica su adecuación como fuente de agua y vitaminas para la cría de *T. molitor*. Además, las cantidades de vitamina A y lípidos parecían aumentar en las harinas obtenidas de larvas alimentadas con zanahoria y con pescado, respectivamente. El pardeamiento experimentado por las larvas en el proceso de secado se estudió a diferentes temperaturas y tiempos. No hubo diferencias entre sus cinéticas a 40, 50 y 60 °C. Un escaldado previo inhibió significativamente el pardeamiento. En resumen, se puede concluir que la composición química de *T. molitor* puede ser manipulada a través de la dieta para adaptarla a las demandas nutricionales y mejorar el uso del insecto como alimento.

Tenebrio molitor, insecto comestible, bioconversión de desechos, composición nutricional, cinética de pardeamiento

ÍNDICE

1	Objetivos	6
2	Introducción	7
2.1	<i>La entomofagia como nueva fuente de alimento</i>	8
2.2	<i>El gusano de la harina, Tenebrio molitor</i>	14
3	MATERIAL Y MÉTODOS	18
3.1	<i>Insectos y dietas</i>	18
3.2	<i>Bioensayo de T. molitor con distintas dietas</i>	19
3.3	<i>Cuantificación del contenido de lípidos, vitamina A y C en la harina de T. molitor</i>	20
3.4	<i>Cinética de pardeamiento de T. molitor</i>	21
3.5	<i>Análisis estadísticos</i>	22
4	RESULTADOS	23
4.1	<i>Evolución del peso de las larvas de T. molitor alimentadas con diferentes verduras</i>	23
4.2	<i>Tasa de conversión alimentaria de las larvas de T. molitor alimentadas con diferentes dietas</i>	24
4.3	<i>Valor nutricional de la harina de larvas de T. molitor criadas en distintas dietas</i>	26
4.3.1	<i>Contenido de humedad</i>	26
4.3.2	<i>Contenido en lípidos</i>	26
4.3.1	<i>Contenido en vitaminas A y C</i>	28
4.3.1	<i>Pardeamiento</i>	30
5	Conclusiones	39
6	Bibliografía	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición nutricional de diversos insectos sobre peso seco. Fuente: Rumpold y Schlüter (2013)	9
Tabla 2.2. Composición nutricional de T. molitor en base a 100g de peso seco. Fuente: FAO (2017b)	13
Tabla 3.1. Composición nutricional del salvado de trigo, zanahoria cruda, brócoli crudo, patata cruda y atún crudo. Fuente: Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA).	15
Tabla 4.1. Peso inicial, final, diferencia de peso e incremento semanal de peso de 10 larvas según la dieta suministrada.	21
Tabla 4.2. Valores de la proporción de lípidos de las larvas alimentadas con presencia o ausencia de pescado en la dieta y diferente tratamiento previo al secado ($F = 3,814$ y $P = 0,029$).	25
Tabla 4.3. Contenido de vitamina A y C de las muestras de harinas de T. molitor alimentados con diferentes dietas.	25
Tabla 4.4. Incremento de la luminosidad de las larvas tras ser escaldadas durante diferentes tiempos.	
Tabla 4.5. Valores de los parámetros de color (CieLAB) medidos a harinas de larvas de T. molitor escaldadas durante diferentes tiempos antes del proceso de secado.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Previsión del incremento en la demanda de productos cárnicos en países en desarrollo en el periodo 2012-2022. Fuente: Heinrich-böll-stiftung y Friends of the Earth Europe (2014)	9
Figura 2.2. Extensión de los sistemas cultivados en 2000. Fuente: FAO (2009)	10
Figura 2.3. Número de especies de insectos comestibles registrados por orden en el mundo (número 2111). Fuente: Jongema (2017)	11
Figura 2.4. Eficiencias de producción de grillos y ganado convencional. Fuente: FAO y WUR (2013)	13

Figura 2.5. Uso de recursos y parámetros de impacto medioambiental de la cría de insectos frente a producciones convencionales. (A) Porcentaje de biomasa digestible; (B) Relación de conversión alimenticia; (C) Producción de equivalentes de Gases de Efecto Invernadero por kg de ganancia de masa corporal; (D) Producción de contaminación por amoníaco por kg de masa corporal; (E) Potencial de calentamiento global; (F) Uso de energía; (G) Uso de tierra; y (H) Uso de agua. Fuente: (Gahukar, 2016)	14
Figura 2.6. Producción de gases de efecto invernadero (potencial de calentamiento global), uso de energía y uso de tierra necesaria para la producción de 1 kg de diferentes animales de granja. Fuente: Oonincx y de Boer (2012).	15
Figura 2.7. Número de empresas dedicadas a la cría, importación y/o exportación de insectos como pienso, alimentación humana y/o derivados de insectos en Europa. Fuente: FAO (2017a)	15
Figura 3.1. Espacio de color CIELAB formado por los ejes L*, a* y b*.	22
Figura 4.1. Incremento del peso medio de 10 larvas a lo largo del tiempo criados en dietas de salvado del trigo y distintas verduras.	25
Figura 4.2. Muestras de larvas alimentadas desechos de zanahoria (izda.), patata (medio) y brócoli (dcha.) en la semana 8, donde se puede apreciar que las larvas alimentadas a base de patata son más claras.	27
Figura 4.3. Diferencia de color entre los excrementos de larvas criadas mediante diferentes dietas. De arriba a abajo, mediante dieta con desechos de patatas, de brócoli y de zanahoria.	28
Figura 4.4. Contenido de vitamina A en forma de retinol ($\mu\text{g}/100\text{g}$ extracto seco) de muestras de harinas obtenidas de larvas de <i>T. molitor</i> alimentadas a base de patata o zanahoria y con distintos tratamientos (V0: alimentado sin pescado y sin escaldado; P0: con pescado y sin escaldado; PE: Con pescado y con escaldado previo al secado).	32
Figura 4.5. Larvas deshidratadas durante 48h a 50°C. A la izquierda las larvas que habías sufrido un escaldado previo y a la derecha los que habían sido deshidratados directamente.	33
Figura 4.6. Harinas de <i>T. molitor</i> deshidratado. Arriba, sin tratamiento previo al secado; abajo con escaldado previo.	33
Figura 4.7. Aspecto de las larvas a lo largo del tiempo en el proceso de secado. (a) Secado a 40°C; (b) a 50°C y (c) a 60°C.	34
Figura 4.8. Evolución de la luminosidad de las larvas de <i>T. molitor</i> respecto al tiempo de proceso de secado en estufa a diferentes temperaturas.	35
Figura 4.9. Aspecto de larvas de <i>T. molitor</i> tras ser escaldadas por diferentes tiempos.	35
Figura 4.10. Evolución de la luminosidad durante las primeras horas de secado a 40°C de larvas sometidas a diferentes tiempos de escaldado-	37
Figura 4.11. Harinas resultantes al moler larvas escaldadas durante distintos tiempos	39

1 OBJETIVOS

- Determinar la cinética de crecimiento y la tasa de conversión de alimento en larvas de *T. molitor* alimentadas con diferentes fuentes de agua y vitaminas.
- Cuantificar el contenido lipídico y de vitaminas A y C en harinas obtenidas de larvas de *T. molitor* alimentadas con diferentes dietas y resultantes de distintos procesados.
- Estudiar la cinética de pardeamiento que experimentan larvas de *T. molitor* en el proceso de secado a diferentes temperaturas y su inhibición mediante escaldado a diferentes tiempos.

2 INTRODUCCIÓN

Proporcionar alimentos suficientes, inocuos, asequibles y nutritivos a la población mundial es un objetivo prioritario, como se expresa en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, más aún cuando se estima que en el año 2050 el mundo acogerá a 9 mil millones de personas (Bijl *et al.*, 2017; Sun-Waterhouse *et al.*, 2016; UN, 2017). Además, el aumento de la urbanización y de la renta *per cápita* están generando un cambio en las dietas que conlleva una mayor demanda de proteína animal (Fig. 2.1.) (OMS y FAO, 2002; Van Mierlo, Rohmer, y Gerdessen, 2017). Así pues, para hacer frente a la creciente demanda de alimentos, especialmente de los que proporcionan proteína animal, la Federación Internacional de Industrias de Alimentos (IFIF) considera que la producción de carne (aves de corral, porcino y vacuno) se debería duplicar (FAO, 2009; Veldkamp *et al.*, 2012).

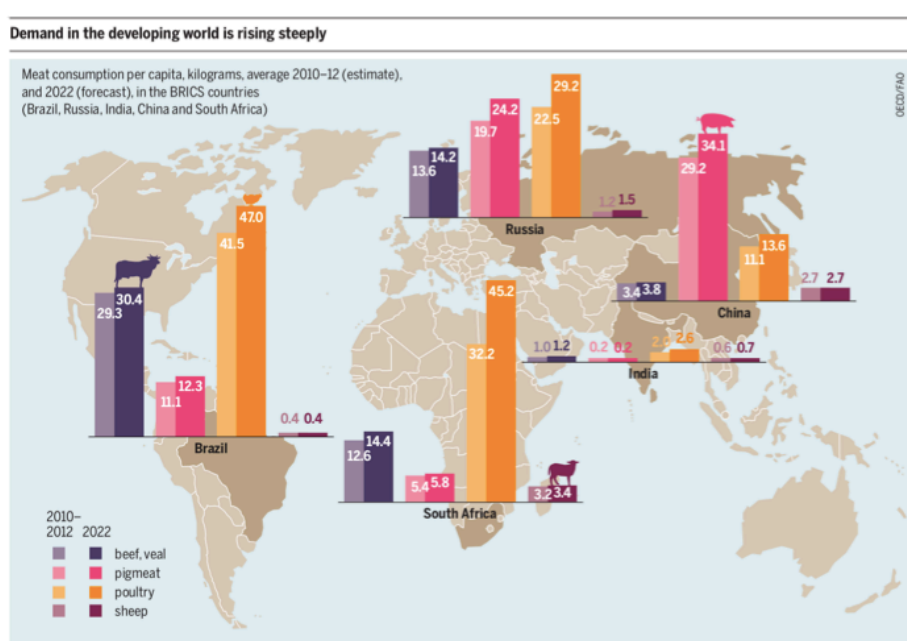


Figura 2.1. Previsión del incremento en la demanda de productos cárnicos en países en desarrollo en el periodo 2012-2022.
Fuente: Heinrich-böll-stiftung y Friends of the Earth Europe (2014)

Sin embargo, aunque el ganado proporcione hoy un 25 % de toda la proteína y el 15 % de la energía necesaria para el ser humano, su cría también supone un excesivo impacto ambiental (Alexander *et al.*, 2017). En general, la producción de alimentos requiere el uso de grandes cantidades de agua, fertilizantes y combustible, acciones que a menudo deterioran los ecosistemas y conllevan elevadas emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) entre otras sustancias (Flachowsky, Meyer, y Südekum, 2017; Reid *et al.*, 2005; Yen, 2009). En conjunto, el sistema alimentario representa un 20 - 30 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, siendo la producción de carne y productos de origen cárnico los principales contribuyentes (Van Mierlo *et al.*, 2017). Además, la ganadería demanda la ocupación de grandes superficies de terreno y en los sistemas de cultivo, que abarcan en la actualidad el 24 % de la superficie terrestre (Fig. 2.2.), la producción ganadera, incluyendo la producción de piensos, ocupa el 70 % (Reid *et al.*, 2005; Yen, 2009).

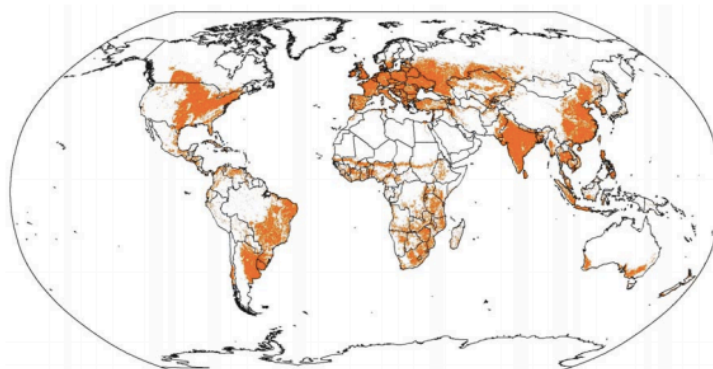


Figura 2.2. Extensión de los sistemas cultivados en 2000. Fuente: FAO (2009)

Para satisfacer las necesidades mundiales de seguridad alimentaria y sostenibilidad, la producción de alimentos debe, por tanto, crecer sustancialmente, pero de forma sostenible y racional para poder minimizar la huella ambiental de la agricultura (FAO, 2009; Van Mierlo et al., 2017). Una menor presencia de la carne en los patrones de consumo junto a un cambio hacia productos más respetuosos con el medio ambiente podrían reducir este impacto (Van Mierlo et al., 2017). Sin embargo, disminuir el consumo de carne supone buscar alimentos alternativos con un valor nutricional equivalente, que asegure las necesidades de los consumidores en cuanto a proteínas de alta calidad (aminoácidos esenciales), hierro, zinc y vitamina B₁₂ (Flachowsky et al., 2017). En este sentido, los informes de la FAO de 2010 y 2013 señalan a los insectos comestibles como excelentes alternativas a la carne de ganado tanto desde el punto de vista nutricional como medioambiental.

2.1 LA ENTOMOFAGIA COMO NUEVA FUENTE DE ALIMENTO

El término "entomofagia" (de las palabras griegas *ἐντομὸν* [*éntomos*], 'insecto', y *φαγεῖν* [*fāguein*], "comer") se refiere al uso de insectos como alimento. En la prehistoria los seres humanos utilizaban huevos, larvas, pupas y adultos de insectos como alimento y esta tendencia ha continuado hasta tiempos modernos en diferentes regiones del mundo (Kouřimská y Adámková, 2016). Se estima que los insectos forman parte de las dietas tradicionales de al menos 2 mil millones de personas (FAO y WUR, 2013) y que hoy en día su consumo se practica tradicionalmente en 113 países de todos los continentes (Kouřimská y Adámková, 2016; Yen, 2009). Se han registrado más de 2000 especies de insectos comestibles entre los que destacan los escarabajos (Coleoptera), orugas (Lepidoptera) y abejas, avispas y hormigas (Hymenoptera) por ser los más comúnmente consumidos a nivel mundial, como muestra la Figura 2.3. (Jongema, 2017).

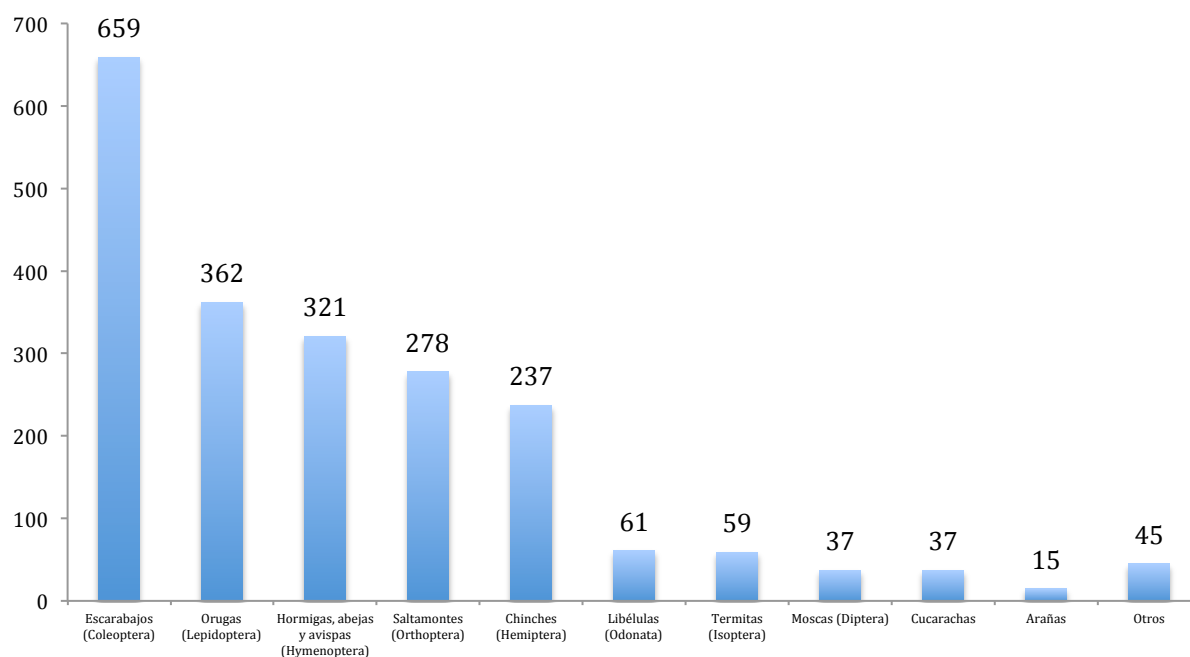


Figura 2.3. Número de especies de insectos comestibles registrados por orden en el mundo (número 2111). Fuente: Jongema (2017)

Los valores nutricionales de los insectos comestibles son muy variables, sobre todo debido a la gran diversidad de especies. Incluso dentro del mismo grupo de especies, los valores pueden diferir dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentre el insecto (en particular si se trata de especies holometábolos, con una metamorfosis completa, como por ejemplo hormigas, abejas y escarabajos), el sexo, su hábitat o su dieta (Adámková, Kourimská, Borkovcová, Kulma, y Mlček, 2016; Rumpold y Schlüter, 2013). Al igual que la mayoría de los alimentos, los métodos de preparación y procesado aplicados antes del consumo también influyen en la composición nutricional (Tabla 2.1). La Red Internacional de Sistemas de Datos sobre Alimentos (INFOODS) perteneciente a la FAO, posee una base de datos para la biodiversidad que recoge, entre otros, el valor nutricional de cientos de insectos (FAO, 2017b) y el nutriente que se encuentra en mayor proporción en todos ellos es la proteína. Las proteínas animales en general tienen un mayor valor nutricional que las proteínas vegetales por su mayor contenido en aminoácidos esenciales para el desarrollo humano (Yen, 2009), y por su mejor calidad, expresada en términos de tasa de eficiencia (PER), digestibilidad y uso neto de proteína (NPU). En particular, las proteínas de insectos parecen no ser excepción, como indican varios estudios realizados en ensayos en ratas de laboratorio y aves de corral (Al-Qazzaz, Ismail, Akit, y Idris, 2016; Longvah, Mangthya, y Ramulu, 2011; Rao, 1994). Además, muchos insectos poseen un alto contenido en grasas insaturadas y minerales esenciales como el calcio, el hierro y el zinc (Rumpold y Schlüter, 2013). Así pues, debido a su valor nutricional, los insectos son una prometedora fuente de alimento para las poblaciones humanas (FAO y WUR, 2013), bien directamente o, indirectamente, como pienso para el ganado (Alexander et al., 2017; Yen, 2009).

Tabla 2.4. Composición nutricional de diversos insectos sobre peso seco. Fuente: Rumpold y Schlüter (2013)

Especie	Edo. des.	Contenido en nutrientes basado en peso seco														
		Prot. (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Energía (Kcal/100 g)	Aminoácidos (esenciales) (mg/g proteína)							Ácidos grasos (%)			
						His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val	C18:2 n6 (Linoleic)	C18:3 n3 (α-Lin)
<i>R. phoenicis</i>	larva	25,7	59,4	3,7	nc	11*	24	47	42	21	65	29	nc	41	13	3,5
	adulto	35,6	46,7	22,9	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
<i>T. molitor</i>	larva	47,7	37,7	5	554,3	35,3	46,7	77,7	60,9	14,1	40,8	34,8	9,2	66,3	nc	nc
	pupa	53,1	36,7	5,1	550	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
<i>A. mellifera</i>	adulto	60,2	20,8	16,3	427,9	28,7	43,5	82,7	44,3	12,7	26,2	34,2	11	63,3	nc	nc
	larva	42	19	1	475	24	53	93	56	17	39	43	nc	52	nc	nc
<i>B. mori</i>	pupa	49	20	3	476	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
	larva	53,8	8,1	6,4	389,6	29,5	33	48,9	50	12,5	28,4	28,4	6,8	39,8	nc	nc
<i>A. domesticus</i>	pupa	48,7	30,1	nc	nc	25	57	83	75	46	51	54	9	56	5,9**	38**
	ninfa	67,3	14,4	15,7	414,4	22,1	42,9	95,5	53,9	13	27,9	35,7	5,2	49,4	nc	nc
DDR (OMS) para un adulto de 70 kg	adulto	66,6	22,1	22,1	455,2	23,4	45,9	100	53,7	14,6	31,7	36,1	6,3	52,2	nc	nc
		50	70 gramos	30	2000 Kcal	700	1400	2730	2100	728 miligramos	1750	1050	280	1820	12 a 17 g (muj a hombre)	1,1 a 1,6
Especie	Edo. des.	Contenido en nutrientes basado en peso seco														
		Minerales (mg/100g)					Vitaminas									
		Ca	K	Fe	Vit. A (µg/100 g)	Vit. E (IU/kg)	Vit. C (mg/100 g)	Vit. B1 (mg/100g)	Vit. B2 (mg/100g)	Vit. B3 (mg/100g)	Vit. B5 (mg/100g)	Vit. B7 (µg/100g)	Vit. B9 (mg/100g)			
<i>R. phoenicis</i>	larva	54,1	1025	30,8	11,3	nc	4,3	3,4	2,5	3,4	nc	nc	nc	nc	nc	nc
	adulto	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
<i>T. molitor</i>	larva	47,1	761,5	5,5	nc	nc	36,1	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
	pupa	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
<i>A. mellifera</i>	adulto	63,6	936,6	6	22,6	nc	45,7	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
	larva	15,4	nc	25,2	12,4	nc	10,3	nc	3,2	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
<i>B. mori</i>	pupa	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
	larva	102,3	1826,6	9,5	274	51,5	<5,8	1,9	5,4	15,2	12,5	144,5	0,4	nc	nc	nc
<i>A. domesticus</i>	pupa	158	nc	26	nc	nc	nc	nc	nc	1	nc	nc	nc	nc	nc	nc
	ninfa	120,1	1537,1	9,3	nc	41,9***	7,9	0,1	4,2	1,4	11,5	21,8	0,6	nc	nc	nc
DDR (OMS) para un adulto de 70 kg	adulto	132	1126,6	6,3	nc	64	9,7	0,1	11,1	12,6	7,5	55,2	0,5	nc	nc	nc
		1300	4700 miligramos	7,5-60	600 µg	8,7 IU/kg	45 mg	1,3 mg	1,2 mg	15 mg	5 mg	36 µg	0,4 mg	nc	nc	nc

No menos importante es la posibilidad de producirlos a gran escala de manera más eficiente que el ganado convencional (Van Huis, 2013). Los insectos tienen una gran capacidad para transformar la materia orgánica en biomasa de alto valor nutricional como proteínas o calorías (alta tasa de conversión alimenticia) (Alexander et al., 2017; Alves, Sanjinez-Argandoña, Linzmeier, Cardoso, y Macedo, 2016; Van Huis, 2013). Por ejemplo, las larvas de insectos (varias especies) criadas en cautiverio, en condiciones preestablecidas, convierten la biomasa vegetal en biomasa animal hasta 10 veces más eficientemente que el ganado convencional (Alves et al., 2016). Es decir, mientras que 10 kg de pienso dan lugar a 1 kg de ternera, esa misma cantidad de pienso da lugar a 9 kg de grillos (Van Huis, 2013). Esta efectividad se debe, principalmente, a su naturaleza de poiquiloterms, es decir, animales de metabolismo y desarrollo acompasados con la temperatura ambiental, que no gastan energía en mantener el calor corporal (Alves et al., 2016; Van Huis, 2013). Asimismo, el porcentaje comestible y digerible de los insectos es mayor que el de los animales convencionales, por lo que por cada kilogramo de pienso suministrado se obtiene mayor cantidad de insecto comestible y digerible que de ganado (Fig. 2.4).

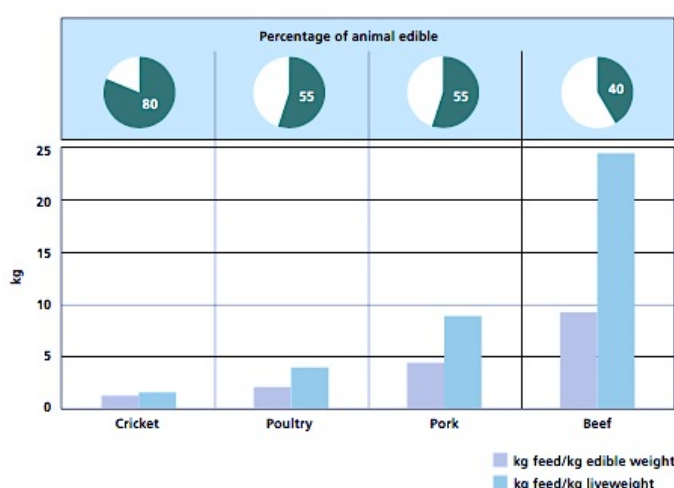


Figura 2.4. Eficiencias de producción de grillos y ganado convencional. Fuente: FAO y WUR (2013)

Por tanto, los insectos pueden cultivarse utilizando menor cantidad de pienso y, en consecuencia, menor cantidad de energía y agua; y también ocupan menos espacio que el ganado convencional y su cría puede realizarse en vertical (Fig. 2.5) (Van Mierlo et al., 2017).

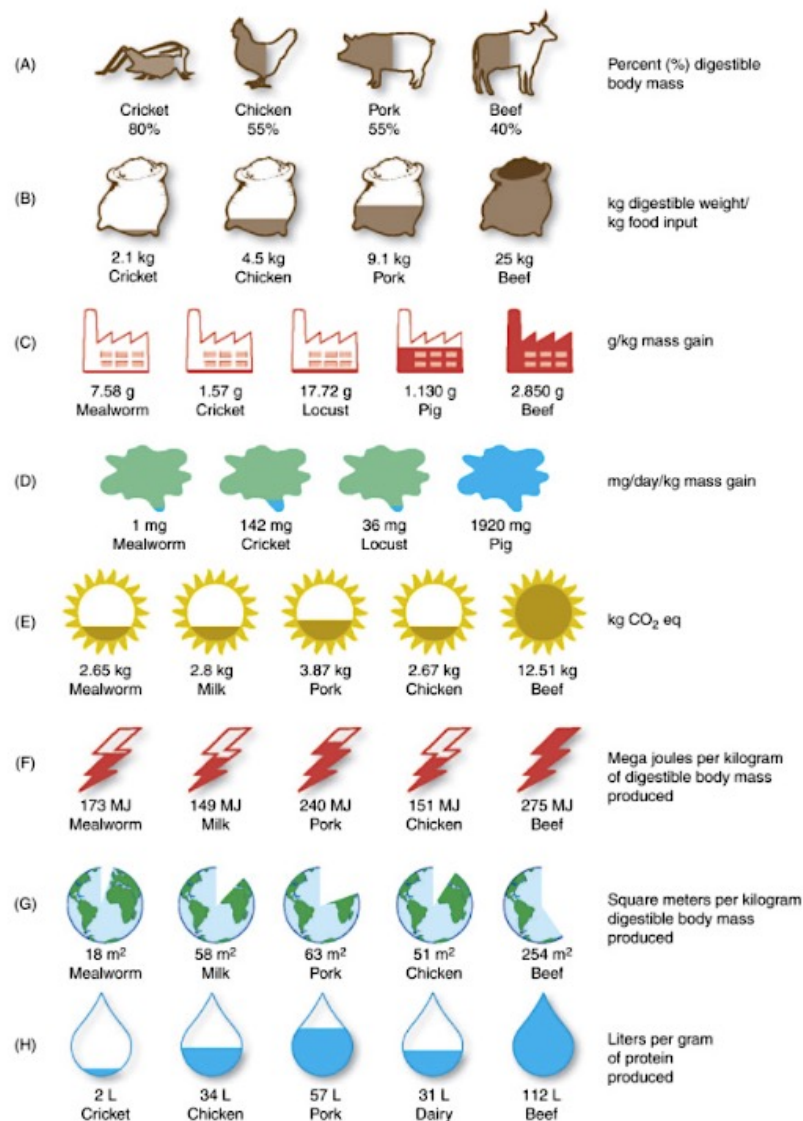
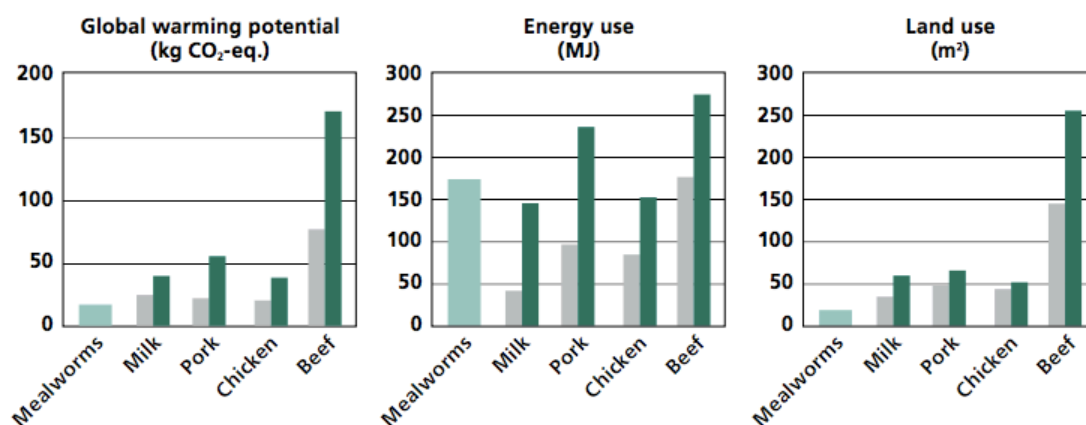


Figura 2.5. Uso de recursos y parámetros de impacto medioambiental de la cría de insectos frente a producciones convencionales. (A) Porcentaje de biomasa digestible; (B) Relación de conversión alimenticia; (C) Producción de equivalentes de Gases de Efecto Invernadero por kg de ganancia de masa corporal; (D) Producción de contaminación por amoníaco por kg de masa corporal; (E) Potencial de calentamiento global; (F) Uso de energía; (G) Uso de tierra; y (H) Uso de agua. Fuente: (Gahukar, 2016)

Además, muchos insectos que pueden servir de alimento para la industria acuícola y para las mascotas animales pueden criarse utilizando desechos de materia orgánica como pienso, incluyendo excrementos y restos de alimentos humanos y animales. Ejemplos destacados de esta práctica los constituyen Agriprotein (<http://agriprotein.com/>) y Enviroflight (<http://www.enviroflight.net/>), que utilizan desechos de verduras y de rebozo de carnes para criar larvas de *Hermetia illucens*, con las que fabrican pienso para la creciente industria acuícola y fertilizante agrícola (con sus excrementos). Por su enorme capacidad bioconversora, se vislumbra a los insectos como integrantes importantes de una economía circular que permita la reducción global de desechos orgánicos, mayor rentabilidad (FAO y WUR, 2013) y la cercanía a los consumidores a través de las granjas verticales (Pesqueira, Kirpeit, y Van Acker, 2017).

La producción de insectos genera menos emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O , etc.) que el ganado tradicional y niveles más bajos de contaminantes como el amoníaco, haciendo de ellos una fuente potencialmente más sostenible de proteína animal (Fig. 2.6) (van Broekhoven, Oonincx, van Huis, y van Loon, 2015; Veldkamp et al., 2012).



Note: The grey bars are minimal values and the dark green bars are maximum values found in the literature.

Figura 2.6. Producción de gases de efecto invernadero (potencial de calentamiento global), uso de energía y uso de tierra necesaria para la producción de 1 kg de diferentes animales de granja. Fuente: Oonincx y de Boer (2012).

Las tres especies más utilizadas hoy en día por la industria de insectos comestibles son el grillo doméstico, *Acheta domesticus* L. (Orthoptera: Gryllidae), el gusano de la harina, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), y la mosca soldado, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae). Hoy en día existen diversas empresas que se dedican a la cría de insectos con diferentes fines en todo el mundo, incluyendo empresas ubicadas en Europa (Fig. 2.7.) (FAO, 2017a).

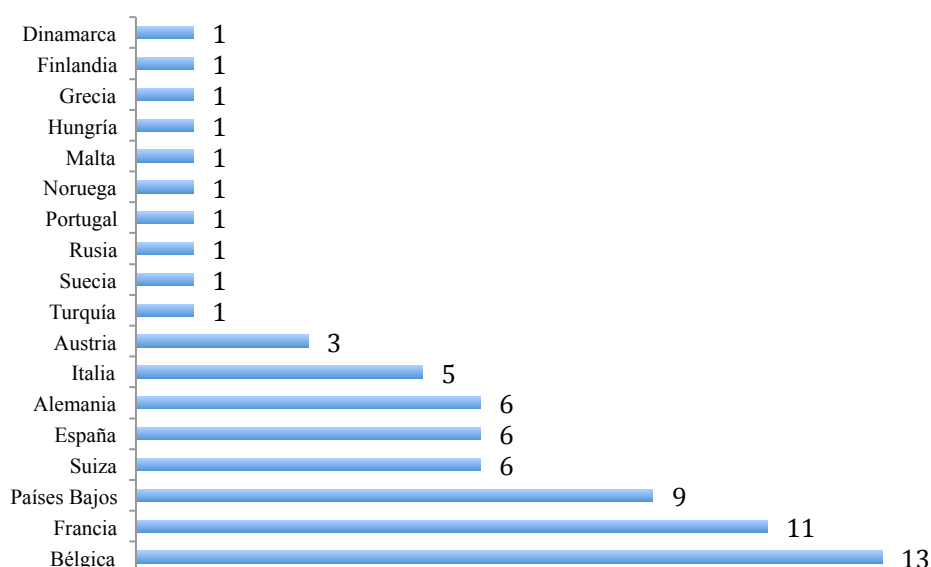


Figura 2.7. Número de empresas dedicadas a la cría, importación y/o exportación de insectos como pienso, alimentación humana y/o derivados de insectos en Europa. Fuente: FAO (2017a)

2.2 EL GUSANO DE LA HARINA, TENEBRIO MOLITOR

T. molitor, más comúnmente conocido como el gusano de la harina, es una especie común que, hasta hace poco, se consideraba una plaga de almacén por los daños que llega a originar en diversos alimentos almacenados, pero que hoy en día se empieza a conocer más por su gran potencial como alimento humano y animal (FAO y WUR, 2013; Houbraken et al., 2016; Kim et al., 2015), e incluso se incluye en estudios de apoyo a la vida en misiones espaciales como un sistema bioregenerativo (Grau, Vilcinskis, y Joop, 2017; Li et al., 2016). Tanto las larvas como los escarabajos adultos de esta especie se están consolidando como una opción prometedora para la cría en masa en los países occidentales, por su carácter endémico en climas templados, su corto ciclo de vida y su facilidad para ser criado en cautividad (FAO y WUR, 2013; J.A. Morales-Ramos, Rojas, Kay, Tedders, y Shapiro Ilan, 2012). De hecho, son varias las empresas que lo crían ya con fines alimentarios como pienso para mascotas (aves, reptiles, mamíferos y anfibios) así como para la acuicultura y avicultura e incluso como alimento humano en varios países europeos, incluido España (FAO, 2017a).

Las hembras adultas de *T. molitor* ponen un promedio de 500 huevos de 4 a 17 días después de la cópula. El desarrollo embrionario dura de 4 a 7 días, pudiéndose acelerar con un aumento de la temperatura (25 a 27 °C) (Alves et al., 2016). Tras él, viene el período larvario, cuyo umbral de desarrollo es de 6,0 °C y tiene un número mínimo de 9 mudas y una constante térmica de 2564,1 grados-día (°D) (Koo et al., 2013). La larva sufre la metamorfosis para convertirse en una pupa, una etapa que dura de 5 a 6 días o incluso 2 semanas, según la temperatura, y culmina su desarrollo cuando emerge el escarabajo adulto, con una longevidad de entre 60 y 80 días (Fig. 2.8). (Alves et al., 2016; Kim et al., 2015). Las condiciones óptimas para *T. molitor* son 25 °C de temperatura y una humedad relativa de 75 % (Punzo, 1975). Por ello, las temperaturas más comunes de cría para los gusanos de la harina entran dentro del rango de entre 25 y 28 °C (Garrucho, 2017; Kim et al., 2015; Koo et al., 2013; Punzo, 1975). Las temperatura umbrales mínima y máxima de *T. molitor* son 10 y 35 °C, respectivamente (Garrucho, 2017; Koo et al., 2013).

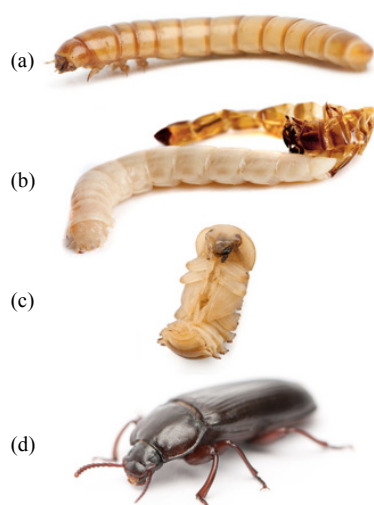


Figura 2.8. Ciclo de vida de *T. molitor*. (a) Estado larvario. (b) Larva recién mudada con su exuvio. (c) Estado pupal. (d) Escarabajo adulto de *T. molitor*

T. molitor muestra más flexibilidad en lo referente a la humedad relativa, lo que justifica el amplio rango de valores de humedad relativa utilizadas en las pruebas de laboratorio (Garrucho, 2017). Aún así, se ha identificado un intervalo óptimo de entre 60 y 75 % (Garrucho, 2017; Punzo, 1975; van Broekhoven et al., 2015). También se han utilizado valores algo superiores (Alves et al., 2016; D. G. A. B. Oonincx, Van Broekhoven, Van Huis, y Van Loon, 2015) ya que algunos autores señalan que la tasa de crecimiento del gusano de la harina aumenta con una humedad relativa superior al 70 ó incluso del 90 al 100 %, aunque estos valores favorecen la aparición de mohos en el sustrato alimenticio (Garrucho, 2017).

T. molitor puede ser alimentado con salvado de trigo o harina, que contienen gran parte de los nutrientes necesarios para su supervivencia (Garrucho, 2017; Houbroken et al., 2016; Makkar, Tran, Heuzé, y Ankers, 2014). Como fuente de agua, diversas frutas y verduras son añadidas comúnmente a las poblaciones en cría artificial (Garrucho, 2017; Makkar et al., 2014). La mayor o menor idoneidad de las dietas suministradas a las larvas de este insecto condicionan su desarrollo, como lo demuestran Morales-Ramos, Rojas, Shapiro-Ilan y Tedders (2010). Dietas ricas en proteínas y con extracto de levadura (diferentes proporciones) incrementan el peso ganado por las larvas y las tasas de conversión alimenticia al mismo tiempo que disminuyen la mortalidad y los tiempos de desarrollo (Garrucho, 2017; van Broekhoven et al., 2015).

Nutricionalmente, en *T. molitor* destacan su contenido de proteínas y lípidos, que representan un 47 – 49 % y 35 - 38 % del peso seco, respectivamente, por lo que se considera una buena fuente de ambas (Rumpold y Schlüter, 2013). La composición nutricional varía entre las distintas etapas del desarrollo (Adámková et al., 2016). Aunque el mayor contenido de proteína y el menor de grasa se encuentra en los escarabajos adultos, éstos contienen sustancias no aptas para el consumo humano (alas, exoesqueleto, patas, etc.), por lo que son las larvas y las pupas las más interesantes desde el punto de vista nutricional (Tabla 2.2) (Adámková et al., 2016).

Tabla 2.2. Composición nutricional de *T. molitor* en base a 100g de peso seco.
Fuente; FAO (2017b)

Composición nutricional de larvas de T. Molitor. Valores obtenidos en diferentes estudios expresados sobre 100g de extracto seco. Fuente: FAO/INFODS, 2017																										
Humedad (g)	Lípidos				Carbohidratos				Cenizas				Minerales										Vitaminas			
	Total (g)	Saturadas (g)	Insaturadas (g)	Poliinsaturadas (g)	Total (g)	Fibra (g)	Calcio (g)	Cobre (mg)	Hierro (mg)	Potasio (mg)	Magnesio (mg)	Manganeso (mg)	Sodio (mg)	Fósforo (mg)	Selenio (mg)	Zinc (mg)	Cadmio (mg)	Plumbio (mg)	Vit. A IU	Vit. C (mg)	Vit. E IU	Vit. B12 (mcg)				
62,9	11,5381				2,7	2,5	5,3795	1,5953	44,52	0,659267	1,47287	2,06	341	80,1	103,88	0,251909	53,7	285	526,82	27,63044	1,05968					
61,9		2,8027878	3,302024	4,4627352																29,63808	1,16973					
		1,8269799	1,9065508	6,7476816																						
61,17	22,5359				6,845729	1,74735	23,298	0,81543	3,45587	407,715	73,777	0,58245	73,777	306,757	16	4,62	3,2785255	0,6673105	<100	<0,5	0,47	1,2				
59,1	19,1588				2,9448	1,1861	65,44	0,5726	2,4131	294,48	49,08	0,5317	40,9	241,31	11,194	4,3618			<100	<0,5	0,56	5,4				
57,8					3,2494	1,477	291,18	0,5486	2,4476	371,36	50,64	1,0128	37,98	240,54	12,09	3,9										
Proteína																										
Total (g)	Aminoácidos																									
	ALA (mg)	ARG (mg)	ASN (mg)	ASP (mg)	CYS (mg)	CYSTE (mg)	GLN (mg)	GLU (mg)	GLY (mg)	HIS (mg)	ILE (mg)	LEU (mg)	LYS (mg)	MET (mg)	ORN (mg)	PHE (mg)	PRO (mg)	SER (mg)	TAU (mg)	THR (mg)	TRP (mg)	TYR (mg)	VAL (mg)			
18,7	1540	970			160			2110	1040	590	940	1990	1020	240		660	1300	960	8	770	150	1370	1100			
26,268495	1810	1020		1660	160		2280	2000	2000	680	1030	1960	1050	300		620	1500	980	14	810	260	790	1500			
18,5277																										
16,4158	262	159	235	4	35		433	163	150	173	312	193	82	45	467	180	294	467	187	0	301	234				

Mariod, Saeed Mirghani, y Hussein (2017) resumen la composición nutricional como 20 % de proteína, 13 % de grasa, 2 % de fibra y 62 % de humedad en peso fresco, mientras que el valor nutricional en peso seco es de 53 % de proteína, 28 % de grasa, 6 % de fibra y 5 % humedad. Los principales ácidos grasos obtenidos son ácido linolénico (19,7 %), ácido palmítico (17,6 %), ácido linoleico (16,3 %) y ácido esteárico (11,4 %). La energía bruta del gusano de la harina es de aproximadamente 206 kcal/100 g de peso fresco, dependiendo de la dieta del insecto (Mariod et al., 2017). Sin embargo, las larvas de *T. molitor* son pobres en calcio y hierro y también en vitaminas A y C (Rumpold y Schlüter, 2013). No obstante, un aspecto de gran interés de los insectos comestibles es la posibilidad de manipular su composición nutricional a través de la dieta con la que se alimentan. Por ejemplo, la cantidad de ácidos grasos omega tres se incrementa hasta 50 veces en prepupas de *Hermetia illucens* si las larvas reciben pescado azul (desechos) en su dieta (St-Hilaire, Sheppard, Tomberlin, y Sealey, 2007). En *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae) ocurre algo similar con el contenido en vitaminas y minerales cuando se les suministran distintas verduras (D. G. Oonincx y van der Poel, 2011). En *T. molitor*, Hunt, Ward, y Ferguson (2001) incrementan la cantidad de calcio de las larvas a través de dietas ricas en este mineral. Por su parte, Ramos-Elorduy et al. (2002) criaron larvas de *T. molitor* en dietas con diferentes cantidades de extracto de levadura, desechos de verduras y excrementos del propio insecto. Las larvas presentaron un contenido de proteínas, minerales y fibra similar aunque diferían en el contenido lipídico y de carbohidratos.

En resumen, *T. molitor* reúne muchas características favorables para ser producido a gran escala como alimento: puede ser alimentado con desechos orgánicos vegetales, su producción a gran escala es relativamente sencilla, posee un elevado aporte nutricional, con excepción del calcio, hierro y vitaminas A y C y su composición química se puede manipular a través de la dieta. Aunque en Europa hay varias empresas que lo producen a gran escala, en España sólo hay dos y ninguna de ellas se localiza en Navarra, donde es previsible que su producción como parte integrante de una economía circular, utilizando los desechos de las empresas agroindustriales de la ribera navarra, tenga un gran interés.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 INSECTOS Y DIETAS

Las larvas de la especie *T. molitor* se adquirieron de la población en cría artificial de Kreca (Ermelo, Países Bajos), que se había mantenido a 22 °C en una dieta consistente en salvado de trigo y peladuras de patata. En el momento de la llegada a la UPNA las larvas tenían 4 semanas y, durante los siguientes tres días de su recepción, se matuvieron en condiciones similares de temperatura y dieta.

Las verduras utilizadas en el trabajo fueron deshechos de patata, brócoli y zanahoria; todas ellas suministradas semanalmente por los supermercados Aldi y productores locales de Barañain, Navarra. Para su conservación, todas las verduras se mantuvieron a 4 °C hasta su utilización. El salvado de trigo utilizado como alimento base fue adquirido en Piensos Unzué (Orcoyen, Navarra). También se utilizó atún, obtenido en el mismo supermercado (Aldi). El valor nutricional todos ellos se detalla en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición nutricional de 100 g de porción comestible de salvado de trigo, zanahoria cruda, brócoli crudo, patata cruda y atún crudo. Fuente: Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA).

Componente	SALVADO DE TRIGO		ZANAHORIA		BRÓCOLI		PATATA		ATÚN	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Proximal										
alcohol (etanol)	0	g	0	g	0	g	0	g	0	g
energía, total	791 (190)	kJ (kcal)	144 (34)	kJ (kcal)	107 (26)	kJ (kcal)	303 (73)	kJ (kcal)	496 (119)	kJ (kcal)
grasa, total (lípidos totales)	4.25	g	0.3	g	0.4	g	0.2	g	3.3	g
proteína, total	15.55	g	0.8	g	3	g	2.2	g	22	g
agua (humedad)	9.9	g	87.8	g	90.7	g	80.6	g	67.3	g
Hidratos de Carbono										
fibra, dietética total	42.8	g	2.6	g	3	g	1.7	g	0	g
carbohidratos	21.72	g	7	g	2.4	g	15.2	g	0	g
Grasas										
ácido graso 22:6 n-3 (ácido docosahexaenóico)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.648	g
ácidos grasos, monoinsaturados totales	0.637	g	0.02	g	traza	g	traza	g	0.65	g
ácidos grasos, poliinsaturados totales	2212	g	0.12	g	0.2	g	0.11	g	1.32	g
ácidos grasos saturados totales	0.63	g	0.05	g	0.07	g	0.03	g	0.96	g
ácido graso 12:0 (láurico)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ácido graso 14:0 (ácido mirístico)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ácido graso 16:0 (ácido palmítico)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.508	g
ácido graso 18:0 (ácido esteárico)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.186	g
ácido graso 18:1 n-9 cis (ácido oléico)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.262	g
colesterol	0	mg	0	mg	0	mg	0	mg	28	mg
ácido graso 18:2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.029	g
ácido graso 18:3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	g
ácido graso 20:4 n-6 (ácido araquidónico)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.077	g
ácido graso 20:5 (ácido eicosapentaenóico)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.101	g
Vitaminas										
Vitamina A (equivalentes de retinol)	0	ug	1346	ug	69	ug	0	ug	26	ug
Vitamina D	0	ug	0	ug	0	ug	0	ug	7.2	ug
Vitamina E (equivalentes de alfa tocoferol)	2.32	mg	0.5	mg	1	mg	0.06	mg	1	mg
folato, total	79	ug	30	ug	110	ug	16	ug	15	ug
equivalentes de niacina, totales	18.28	mg	0.6	mg	1	mg	1.15	mg	12.8	mg
riboflavina	0.577	mg	0.05	mg	0.13	mg	0.04	mg	0.13	mg
tiamina	0.523	mg	0.1	mg	0.1	mg	0.1	mg	0.1	mg
Vitamina B-12	0	ug	0	ug	0	ug	0	ug	4	ug
Vitamina B-6, Total	1303	mg	0.2	mg	0.19	mg	0.3	mg	0.4	mg
Vitamina C (ácido ascórbico)	0	mg	7	mg	110	mg	19	mg	traza	mg
Minerales										
calcio	73	mg	42	mg	93	mg	11	mg	16	mg
hierro, total	10.57	mg	0.3	mg	1.4	mg	0.7	mg	1.3	mg
potasio	1182	mg	286	mg	370	mg	525	mg	400	mg
magnesio	611	mg	10	mg	25	mg	20	mg	33	mg
sodio	2	mg	70	mg	13	mg	15	mg	47	mg
fósforo	1013	mg	16	mg	67	mg	46	mg	230	mg
ioduro	0	ug	6.5	ug	2	ug	2.6	ug	8	ug
selenio, total	77.6	ug	1.3	ug	3	ug	1.5	ug	82	ug
zinc (cinc)	7.27	mg	0.2	mg	0.6	mg	0.3	mg	0.7	mg

3.2 BIOENSAYO DE *T. MOLITOR* CON DISTINTAS DIETAS

Los ensayos se iniciaron con 500 g de larvas, previamente sometidas a una limpieza de restos de excrementos y alimentos utilizando un tamiz de 100 μm . Primeramente se estimó el número de insectos calculando la media de diez conteos visuales de las larvas presentes en un gramo. El resultado fue de 76,7 larvas / gramo. Las larvas se separaron en nueve grupos de 63 g (aprox. 4832 larvas) dispuestos en nueve cajas de plástico opaco (35 x 25 x 7 cm). A continuación, a cada grupo se le suministró una dieta base consistente en 50 g de salvado integral de trigo y 75 g de una verdura rallada: patata, brócoli o zanahoria. Se prepararon tres cajas (réplicas) por cada tipo de verdura suministrada (Fig. 3.1).

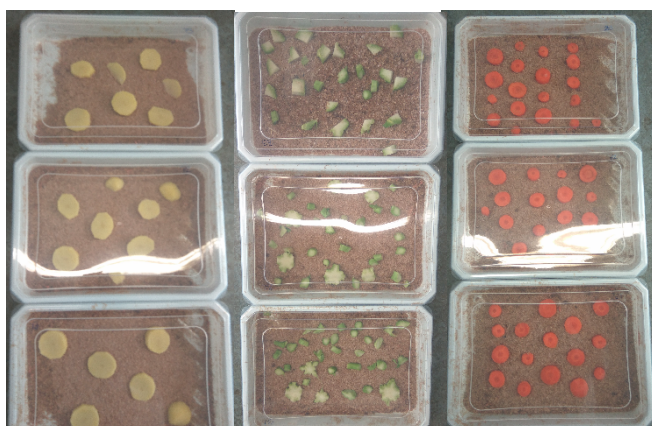


Figura 3.2. Cajas utilizadas para la cría de las larvas a base de dietas con diferentes vegetales. Izquierda: con patata; centro: con brócoli y derecha: con zanahoria.

Los gusanos de la harina se criaron en una cámara del insectario de la Universidad Pública de Navarra en condiciones controladas a una temperatura de 25 °C y una humedad relativa de 50 % con fotoperiodo controlado (16 horas de luz y 8 de oscuridad). Las cajas se colocaron en cuadrado latino para evitar errores de borde.

Los nueve grupos de larvas se limpiaron semanalmente y se alimentaron con salvado y verduras dos veces por semana. La limpieza consistió en la retirada de los restos de alimento y de los excrementos mediante tamizado, con tamaños de poros adecuados al tamaño de las larvas (100 -500 μm). Por otra parte, la cantidad de alimento que se les añadió dependió de las necesidades de las larvas, aumentando la cantidad de alimento progresivamente a medida que las larvas crecían e intentando mantener una proporción constante para el salvado y las verduras.

Para realizar un seguimiento del crecimiento, se pesaron aleatoriamente treinta larvas de cada caja en tres grupos de diez larvas dos veces por semana.

La cría de las larvas se prolongó durante seis semanas y media. En la cuarta semana, cada grupo se subdividió en dos (ejemplo: P1 en P1-1 y P1-2) y se prosiguió con su mantenimiento (limpieza y suministro de alimento) y control (registro de peso) de igual forma que como se venía haciendo. Dos días antes de dar por terminado el bioensayo, a

uno de los dos subgrupos de cada tratamiento y repetición se le suministraron 25 g de pescado azul (atún) en lugar de verdura durante 24 h, mientras que al otro subgrupo se le añadió, como venía siendo habitual, su verdura correspondiente (25 g). Durante las últimas 24 horas, las larvas se mantuvieron sin alimento para vaciar su contenido intestinal. A continuación se limpiaron los excrementos, se registró su peso (total y de tres grupos de 10 larvas), se introdujeron en bolsas de congelación y se mantuvieron a -20 °C hasta su posterior procesamiento y análisis bromatológico.

Aprovechando los datos registrados de los pesos de las larvas y de la dieta suministrada, se estimó la eficiencia de conversión alimenticia. Ésta se expresó como el índice de conversión de alimentos (FCR, por sus siglas en inglés) en base húmeda (larvas frescas), calculado como:

$$\text{FCR} = \text{peso del alimento ingerido} / \text{incremento peso vivo de las larvas.}$$

Este parámetro fue calculado con los datos recogidos a partir de la segunda semana, cuando los insectos ingerían la totalidad de la dieta suministrada. El ensayo no fue diseñado inicialmente para realizar este cálculo y no se registraron los pesos de la totalidad de las larvas semanalmente, sino únicamente al final del periodo.

3.3 CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE LÍPIDOS, VITAMINA A Y VITAMINA C EN LA HARINA DE *T. MOLITOR*

Para los análisis bromatológicos, se prepararon varias muestras de las larvas de cada uno de los tratamientos del bioensayo (Figura 3.2). Las nueve muestras de las larvas que no se alimentaron con pescado (tres por cada tratamiento de verduras) se procesaron mediante deshidratación en una estufa a 50 °C durante 48 h y molienda en una molinillo doméstico. La deshidratación dio como resultado un pardeamiento muy acusado de las muestras, por lo que se decidió que las nueve muestras de larvas que se alimentaron con pescado (tres por cada tratamiento de verduras) se dividieran en dos mitades, una de las cuales se procesó de igual forma que las muestras sin pescado y la otra se sometió a un escaldado (6 minutos) previo a la deshidratación y molienda, para evitar el pardeamiento. En las 27 muestras resultantes se cuantificó el contenido de humedad y grasa. Para la cuantificación de la vitamina A se prepararon seis muestras: tres de larvas criadas en patata (PV0 sin pescado, PP0 con pescado y sin tratamiento de ebullición y PPE con pescado y tratamiento de ebullición) y otras tres de las criadas en zanahoria (ZV0, ZP0 y ZPE). Para la cuantificación de la vitamina C se prepararon otras seis muestras: tres de larvas criadas en patata (PV0, PP0 y PPE) y otras tres de las criadas en brócoli (BV0, BP0 y BPE). Las muestras se prepararon mezclando 20 g de cada una de las tres repeticiones de cada tratamiento para alcanzar una cantidad de 60 g.

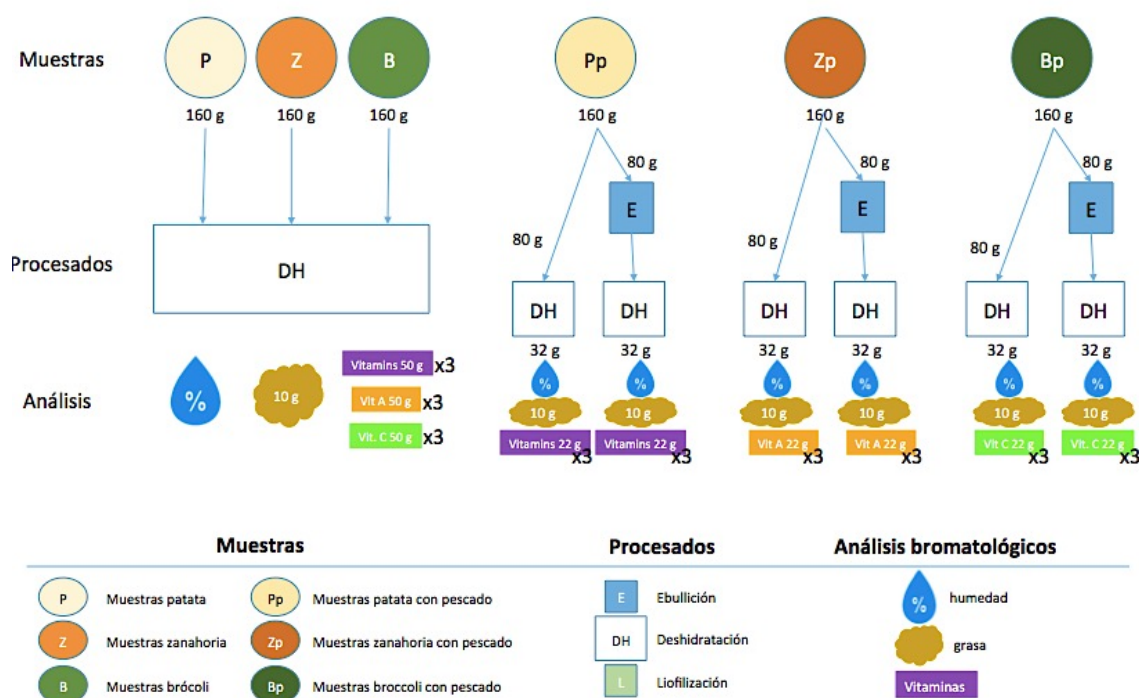


Figura 3.2. Esquema del tratamiento y posteriores análisis de las muestras.

El contenido de humedad se calculó mediante gravimetría tras secar muestras de 2 gramos durante 24 horas a 105 °C.

El contenido de grasa de las harinas de insectos se estimó por extracción mediante Soxhlet. Se utilizaron 3 gramos de insectos y éter de petróleo como disolvente durante tres horas, tras las que se recogió la grasa extraída. La cantidad de grasa se estimó por gravimetría y se expresó mediante porcentaje en peso seco. Cada una de las muestras se analizó por triplicado.

El contenido de vitaminas A y C de las harinas se analizó en Eurofins Análisis Alimentario Nordeste, S.L.U mediante HPLC (Método: EN 12823-1 2014).

3.4 CINÉTICA DE PARDEAMIENTO DE *T. MOLITOR*

Por un lado, para estudiar la cinética del pardeamiento que sufren los insectos y compararla a distintas temperaturas, larvas de *T. molitor* criadas en el insectario de la UPNA con dieta a base de salvado de trigo y brócoli se dispusieron en diferentes grupos de 15g en cápsulas de aluminio y se secaron en estufas a 40, 50 y 60 °C durante 24 horas. El color adquirido fue cuantificado en la espacio de color CielAB mediante el equipo Digieye de VeriVide (Enderby, Reino Unido) cada 15-30 minutos.

CielAB distingue los parámetros L*, a* y b* (Figura 3.3.). El eje L* se refiere a la luminosidad de color (L* = 0 indica negro y L* = 100 indica blanco) mientras que a* y b* indican las coordenadas cromáticas. a* es la posición del color en un eje entre rojo y verde (valores de a* negativos indican un color verde y los positivos rojo) y b* la posición entre el amarillo y azul (unidades de b* negativas indican color azul mientras que los positivos indican amarillo).

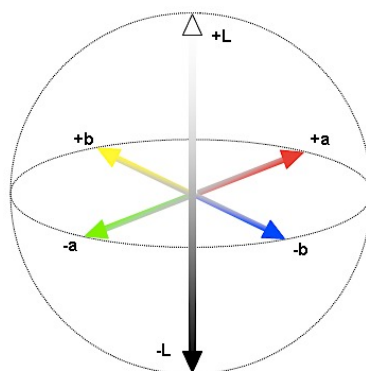


Figura 3.3. Espacio de color CIELAB formado por los ejes L^* , a^* y b^* .

La diferencia de color, denominada ΔE^* , se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Así mismo, para comprobar el efecto del escaldado en la inhibición del pardeamiento posterior sufrido en la deshidratación, las larvas fueron dispuestas en grupos de 25 g y sometidas a diferentes tiempos de escaldado antes de secarlas a 40 °C durante 24 h. En el ensayo se comparó el color que iban adquiriendo a lo largo del secado una muestra testigo con insectos que no habían sido escaldados y muestras que fueron escaldadas durante 2, 4, 5 y 6 minutos. En un segundo ensayo se aumentaron los tiempos de escaldado a 2, 6, 8 y 10 minutos y se compararon con un testigo sin escaldar. El color se estimó en 3 puntos diferentes de cada muestra.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El análisis estadístico de los datos medios de los pesos de las larvas del bioensayo y de su contenido en humedad, grasa y vitaminas se llevó a cabo mediante IBM SPSS Statistics. Se realizaron comparaciones de medias mediante T. Test para muestras independientes y ANOVA unifactorial para determinar diferencias significativas entre los distintos tratamientos alimenticios ($\alpha = 0,05$) de acuerdo a los factores de variación estudiados en cada caso (tipo de dieta, tiempo de escaldado, etc.). Los resultados se expresan mediante el valor medio y el error mediante desviación estándar. El ANOVA se complementó con un análisis de comparación múltiple utilizando el criterio Tukey para determinar entre qué niveles de cada factor existían o no diferencias significativas (al 95 % de confianza).

4 RESULTADOS

4.1 EVOLUCIÓN DEL PESO DE LAS LARVAS DE *T. MOLITOR* ALIMENTADAS CON DIFERENTES VERDURAS

El peso medio final de las larvas fue estadísticamente igual para los tres tratamientos alimenticios ($F = 1,280$ y $P = 0,324$), como se observa en la Figura 4.1. Los pesos alcanzados en 6 semanas estuvieron en torno a $0,076 \pm 0,006$ g / larva incrementándose más de 7 veces respecto a su peso al inicio del bioensayo.

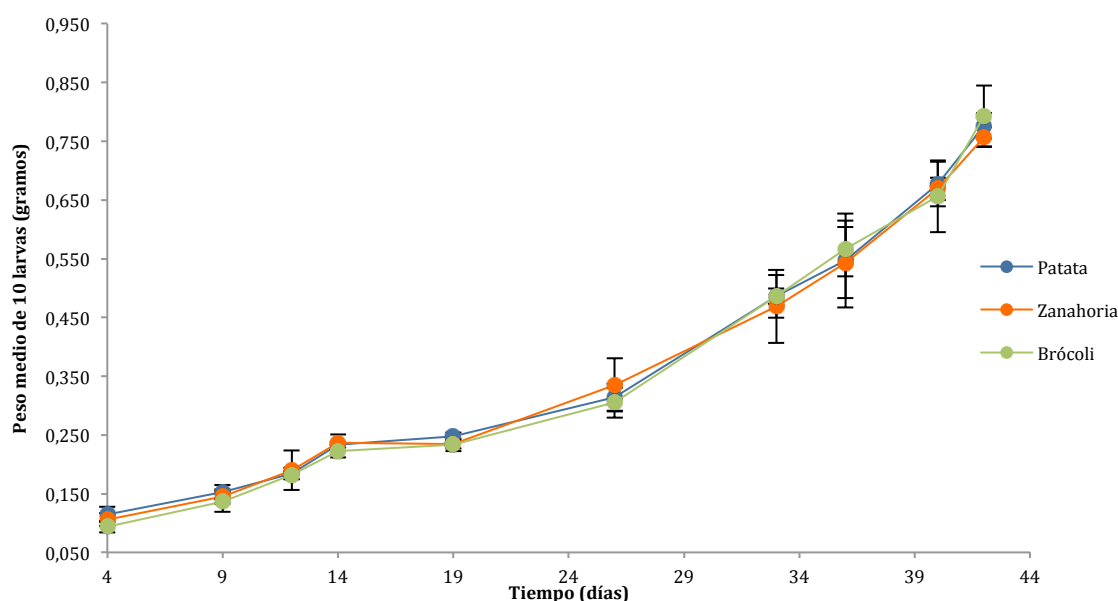


Figura 4.1. Incremento del peso medio de 10 larvas a lo largo del tiempo criados en dietas de salvado del trigo y distintas verduras.

Para analizar en más detalle la evolución del crecimiento de las larvas entre los tratamientos de dieta, se realizaron ANOVAs monofactoriales de los pesos medios iniciales, de los pesos medios finales, del incremento de peso total (diferencia peso) y de los incrementos de peso semanales por tipo de dieta y réplica.

Los incrementos de peso larvario no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con las diferentes dietas, como se muestra en la Tabla 4.1 ($F = 1,280$ y $P = 0,324$). Hubo diferencias significativas entre las réplicas, pero no en la diferencia de pesos ni por dieta ni por réplicas, por lo que el incremento no parece deberse a la dieta. Cheng *et al* (2015) obtuvieron resultados similares en su estudio sobre el efecto de dietas basadas en desechos vegetales en la cría de larvas de la mosca soldado *H. illucens*, un insecto con grandes posibilidades como alimento y enorme capacidad de bioconversión de la materia orgánica (al igual que el gusano de la harina). Estos investigadores observaron que el diferente contenido de humedad de los substratos alimenticios que utilizaron no afectó al peso de las larvas pero sí influyó en el tiempo de desarrollo larvario pues a mayor contenido de agua de los alimentos, más rápido crecieron las larvas y antes llegaron al

estado pupal. En el presente trabajo no se llegó al estado pupal, pero no cabrían esperar diferencias en el tiempo de desarrollo entre grupos de larvas criadas con dietas con un alto contenido en agua, como es el caso de la patata (77 %), la zanahoria (89 %) y el brócoli (90 %). De hecho, los ensayos preliminares de Arlegui (2017) con *T. molitor* en dietas similares resultaron en tasas de desarrollo larvarias estadísticamente iguales al final de la etapa de larva. Morales-Ramos *et al* (2010) también investigaron la influencia de diferentes dietas sobre el tiempo de desarrollo de *T. molitor*. Las dietas que suministraron también se basaron en salvado de trigo, pero añadieron patata y clara de huevo, ambas deshidratadas, en diferentes proporciones y resultaron en tasas de desarrollo significativamente mayores conforme se aumentó la cantidad de proteína (mayor cantidad de clara de huevo en la dieta). En el trabajo presente, la cantidad de proteína suministrada a las larvas es la aportada principalmente por el salvado de trigo (16 %) y más secundariamente por las verduras (2,5 % en patata, 4,4 % en brócoli y 0,9 % en zanahoria).

También se analizó el efecto del pescado suministrado durante 24 h a 9 grupos de larvas sobre su crecimiento. No hubo diferencias significativas entre las larvas que se alimentaron con pescado y las que no ($F = 2,401$ y $P = 0,141$), ni en los diferentes tipos de dietas de verduras ($F = 0,068$ y $P = 0,935$) ni en la combinación de ambas ($F = 0,490$ y $P = 0,778$). Un resultado esperable teniendo en cuenta que se les suministró pescado durante sólo un día. Sin embargo, es de destacar que, en todos los grupos de larvas alimentados con pescado, hubo una cantidad de mudas larvarias apreciablemente mayor, lo que sugiere una posible aceleración del desarrollo en esas larvas, quizá por el aumento de proteína (23 % en atún) en la dieta. Para comprobar esto serían necesarios nuevos ensayos.

Tabla 4.1. Peso inicial, final, diferencia de peso e incremento de peso a lo largo de 6 semanas de cría en grupos de 10 larvas según la verdura suministrada.

Dieta	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia de peso (g)	Incremento semanal (g)	Tasa de conversión*
Patata	$0,115 \pm 0,013^a$	$0,776 \pm 0,074^a$	$0,661 \pm 0,083^a$	$0,066 \pm 0,013^a$	$3,155 \pm 0,312^a$
Zanahoria	$0,106 \pm 0,011^{ab}$	$0,757 \pm 0,058^{ab}$	$0,651 \pm 0,065^a$	$0,065 \pm 0,013^a$	$3,298 \pm 0,342^a$
Brócoli	$0,0934 \pm 0,010^b$	$0,793 \pm 0,041^b$	$0,699 \pm 0,019^a$	$0,070 \pm 0,140^a$	$2,986 \pm 0,118^a$

* Tasa de conversión calculada a partir de la segunda semana, cuando la dieta suministrada se ingerida por las larvas en su totalidad.

4.2 TASA DE CONVERSIÓN ALIMENTARIA DE LAS LARVAS DE *T. MOLITOR* ALIMENTADAS CON DIFERENTES DIETAS

La tasa de conversión de alimento obtenida en las últimas cuatro semanas del ensayo fue de $3,146 \pm 0,275$, teniendo en cuenta que a todas las cajas se les suministraron 822,5 g en total de alimentos (salvado de trigo y desechos vegetales a partir de la segunda semana). Es decir, para que las larvas incrementasen 1 kg su peso, se necesitarían aproximadamente 3,25 kg de pienso o dieta. Estos valores de conversión no mostraron diferencias significativas al analizarlos por la dieta suministrada con diferentes desechos

vegetales ($F = 0,961$ y $P = 0,434$). En cualquier caso son valores obtenidos en un periodo de cuatro semanas y deben considerarse preliminares porque no tienen en cuenta la totalidad del desarrollo de las larvas (de unas 12 semanas en las condiciones de temperatura utilizadas). En comparación con otros estudios, fueron muy similares a los obtenidos en *T. molitor* por van Broekhoven *et al.* (2015), de 3, algo superiores a los obtenidos por Ooninx y De Boer (2012), de 2,2, y menores que todos los obtenidos por Ooninx *et al.* (2015), de entre 4,5 y 19,1, que usaron zanahoria como fuente de agua. La diferencia entre los valores de los diferentes ensayos podría sugerir que la dieta afecta a la tasa de conversión como apuntan van Broekhoven *et al.* (2015) y Ooninx *et al.* (2015), que consideran que la dieta es el principal factor que afecta a la eficiencia de conversión alimenticia de diferentes especies de gusanos comestibles (entre ellos *T. molitor*) criados en dietas compuestas de subproductos orgánicos (D. G. A. B. Ooninx *et al.*, 2015; van Broekhoven *et al.*, 2015). Aún así, van Broekhoven *et al.* (2015) no tuvieron en cuenta la cantidad de zanahoria que se les suministró a las larvas a la hora de calcular la tasa de conversión de alimento, por lo que los valores deberían ser algo mayores (van Broekhoven *et al.*, 2015). Durante el ensayo se observó que las larvas alimentadas con desechos de patata tuvieron un color más claro que las criadas con verduras diferentes (zanahoria y brócoli) y que, además, los excrementos fueron más oscuros (Figuras 4.2 y 4.3, respectivamente), datos que no se cuantificaron al no parecer relevantes, pero que coinciden con la observación que también recogió van Broekhoven *et al.* (2015). La diferencia de color resultó más notoria en los excrementos, de color mucho más oscuro en los grupos de larvas alimentadas con desechos de patatas, más rojizo en los de zanahoria y más claro en los de brócoli. El color es una característica organoléptica que puede ser importante para la aceptación de los productos alimenticios a base de insectos y debería estudiarse con mayor profundidad.



Figura 4.2. Muestras de larvas alimentadas desechos de zanahoria (izda.), patata (medio) y brócoli (dcha.) en la semana 8, donde se puede apreciar que las larvas alimentadas a base de patata son más claras.



Figura 4.3. Diferencia de color entre los excrementos de larvas criadas mediante diferentes dietas. De arriba a abajo, mediante dieta con desechos de patatas, de brócoli y de zanahoria.

4.3 VALOR NUTRICIONAL DE LA HARINA DE LARVAS DE *T. MOLITOR* CRIADAS EN DISTINTAS DIETAS

4.3.1 Contenido de humedad

La humedad de las larvas fue de $64,02 \% \pm 0,78$, sin diferencias significativa entre las criadas mediante diferentes dietas ($F = 0,723$ y $P = 0,523$); valores muy similares a los expuestos por Yi *et al* (2013) y Makkar *et al* (2015).

Por su parte, las harinas de los distintos grupos de larvas tuvieron una humedad media de $7,42 \% \pm 1,20$, sin diferencias significativa entre las muestras de los insectos alimentados con diferentes verduras ($F = 1,31$ y $P = 0,348$).

4.3.2 Contenido en lípidos

El contenido de lípidos obtenidos de los insectos a los que se les añadía o no pescado en la dieta rondó el 30–40 % sobre materia seca, sin mostrar grandes diferencias entre los valores como se aprecia en la figura 3.4. No parece que hubiese grandes diferencias entre el porcentaje de grasa obtenido entre los grupos de larvas criadas en dietas a base de desechos vegetales ni tampoco en los de dietas con 24 h de pescado, aunque *a priori* se observó que en todos los casos el contenido de grasa fue mayor cuando se añadió pescado y, además, en el caso de la dieta a base de zanahoria (sin importar si se le ha añadido pescado o no), también se lograron valores más altos.

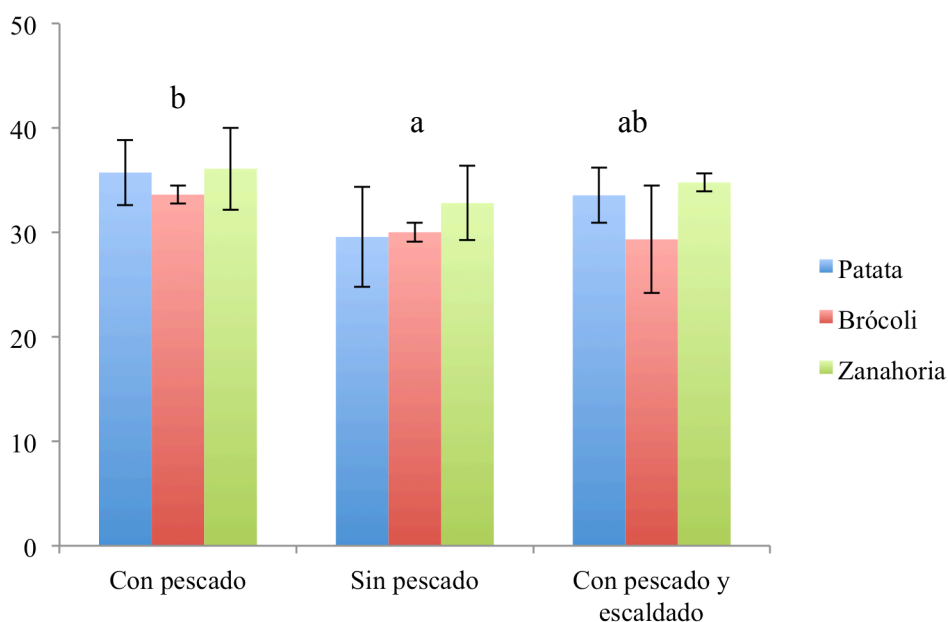


Figura 4.4. Porcentajes de grasa sobre materia seca de larvas de *T. molitor* obtenidas según las dietas suministradas y el proceso realizado.

El contenido de grasa ($35,47 \pm 4,00$ % en peso seco) coincide con los obtenidos por Kouřimská y Adámková (2015) (36 %), Dreassi *et al.* (2017) (34 %) y Ramos-Morales *et al.* (2015) (36 %), se encuentra dentro de los valores obtenidos por Makkar *et al.* (2014) (31 - 43 %) (34 %), es algo menor que los logrados por Alves *et al.* (2016) (39 – 50 %) y algo mayor que el 25 % obtenido por van Broekhoven *et al.* (2015).

Según el análisis realizado, no existe diferencia significativa entre el contenido de grasa de las larvas y la diferente dieta vegetal suministrada ($F = 2,314$ y $P = 0,121$) así como el sustrato (teniendo en cuenta tanto qué verdura se le daba como la presencia de pescado) ($F = 1,921$ y $P = 0,119$). Sí existe una diferencia significativa en el contenido lipídico entre las larvas a las que se les añadió pescado en la dieta y fueron deshidratados y los que se procesaron del mismo modo pero no tuvieron pescado en la dieta (sin diferenciar el tipo de vegetal suministrado), como se muestra en la tabla 4.2.

Diferentes estudios demuestran que la dieta influye en el contenido lipídico de los insectos (Adámková *et al.*, 2016; Makkar *et al.*, 2014; van Broekhoven *et al.*, 2015). Por el contrario, Dreassi *et al.* (2017) indican que, a pesar del diferente contenido de grasa de los sustratos de cría, tanto larvas como pupas de *T. molitor* muestran un porcentaje de grasa constante. Sugieren que, aunque la dieta no afecta al contenido de grasa de las larvas, sí lo hace a su perfil lipídico, como también sugieren van Broekhoven *et al.* (2015).

No obstante, se observa que el proceso de escaldado parece reducir ligeramente el contenido en grasa. Los insectos alimentados con pescado pero que fueron escaldados no alcanzan el contenido lipídico de los insectos a los que también se les añadió pescado pero no fueron escaldados. Así, los primeros logran unos valores intermedios y estadísticamente iguales que las demás muestras (las muestras a las que no se les añadió pescado y las que

fueron criados con pescado pero no se escaldaron antes del secado). Hay que tener en cuenta que no se analizaron muestras “sin pescado y escaldadas”, lo que podría haber aportado datos que reforzasen esta hipótesis si mostrasen un contenido en grasa ligeramente menor que las “sin pescado”. Aún así, aunque el tipo de procesado puede hacer variar sustancialmente la calidad y cantidad de nutrientes de los insectos comestibles, especialmente en lo que se refiere a las proteínas y vitaminas, no es probable que el escaldado afecte a la cantidad de grasa y no se han encontrado ejemplos que lo demuestren.

Tabla 4.2. Valores de la proporción de lípidos de las larvas alimentadas con presencia o ausencia de pescado en la dieta y diferente tratamiento previo al secado (F = 3,814 y P = 0,029).

Media (g lípidos / 100g materia seca)	
Sin pescado en la dieta	33,27 ± 3,29 ^a
Con pescado en la dieta	37,97 ± 3,63 ^b
Con pescado y tras escaldado	35,17 ± 3,94 ^{ab}

4.3.1 Contenido en vitaminas A y C

En las seis muestras de harinas en las que se analizó la vitamina C, los valores fueron menores de 0,5 mg por 100 g de muestra. Algunos estudios han estimado valores para *T. molitor*, de 1,2 g por 100 g de peso seco, pero se trata de valores obtenidos en larvas crudas (FAO, 2017b). Es muy probable que el procesado de deshidratación haga incuantificable una vitamina hidrosoluble como es la vitamina C.

Tabla 4.3. Contenido de vitamina A de las muestras de harinas de *T. molitor* alimentados con diferentes dietas.

Nombre muestra	Verdura*	Atún	Procesado		Vit. A	
			Escaldado	Deshidratación	UI/kg	µg/100 g
PV0	Patata	no	no	sí	4839,06 ± 967,81	145,17 ± 29,03
ZV0	Zanahoria	no	no	sí	6027,22 ± 1205,44	180,02 ± 36,16
PP0	Patata	Sí	no	sí	4212,57 ± 842,51	126,38 ± 25,27
ZP0	Zanahoria	Sí	no	sí	508749 ± 1017,50	152,62 ± 13,09
PPE	Patata	sí	sí	sí	2181,90 ± 436,38	65,49 ± 13,10
PZE	Zanahoria	sí	s'	sí	4244,98 ± 849,00	132,97 ± 26,59

*Valores obtenidos de una única muestra, sin repeticiones, por lo que sus errores estándar, de ± 20%, se asignaron por defecto.

El contenido de vitamina A de las harinas de larvas criadas en zanahoria fue más de un 21% superior que el de las criadas en patata, tanto si se comparan las muestras a las que no se suministró pescado (PV0 y ZV0), como las que sí tuvieron pescado y no fueron escaldadas (PP0 y ZP0), como las que se alimentaron con pescado y que se escaldaron (PPE y PZE) (Figura 4.4 y Tabla 4.3). No fue posible realizar un análisis estadístico de los

datos por contar únicamente con una repetición por cada tratamiento, por lo que los datos sólo pueden considerarse como preliminares. En cualquier caso, son datos razonables pues las harinas más ricas en vitamina A proceden de larvas criadas en zanahoria, un sustrato rico en vitamina A (1346 µg/100 g peso fresco). El valor más alto obtenido cubriría el 30 % de la ingesta diaria recomendada para un adulto de 70kg con 100 g de harina (Tabla 2.1).

También es de destacar que la sustitución de pescado por zanahoria en las últimas 24 h de cría parece que afectó negativamente al contenido de vitamina A de las larvas, pues comparando las muestras de harina de larvas criadas con zanahoria sin pescado (ZV0) y con pescado (ZP0), éstas últimas tuvieron un 15,6 % menos de vitamina A que las primeras (Tabla 4.3). De forma similar, en la comparación de las harinas de larvas criadas en patata sin y con pescado, PV0 y PP0, respectivamente, la muestra PP0 dio un valor 12,9 % menor de vitamina A. Aunque sería necesario contar con los datos de un mayor número de repeticiones para confirmar este resultado, es lógico pensar que la retirada de la fuente principal de vitamina A de la dieta de las larvas provoque una disminución de la cantidad de retinol en la composición química de las harinas.

Otro dato relevante es el relativo a la influencia del procesado. Los datos indicaron que el escaldado podría también reducir el contenido en vitamina A de las harinas pues la muestra PPE contenía un 48% menos de vitamina A que la PP0 y la ZPE un 16,6 % menos que la ZP0 (Tabla 4.3). Este resultado, de confirmarse con un mayor número de datos, es esperable, pues la vitamina A es termolábil y se destruye por la acción del calor, que en este caso se aplicó durante 6 min a 100 °C.

De media, los valores de vitamina A de las muestras analizadas (4431 UI/kg) fueron superiores a los recogidos en la base de datos INFOODS (FAO, 2017b), de 280-300 UI/kg. Sin embargo, comparar los valores obtenidos en este trabajo con los de la base de datos INFOODS es complicado porque, aunque en el caso recogido en la base de datos las larvas de *T. molitor* fueron criadas en laboratorio y alimentadas con dieta similar (salvado de trigo, avena, patata y manzana), el análisis de las vitaminas se hizo en larvas crudas, mientras en este trabajo se analizaron harinas de larvas deshidratadas y escaldadas en varios casos.

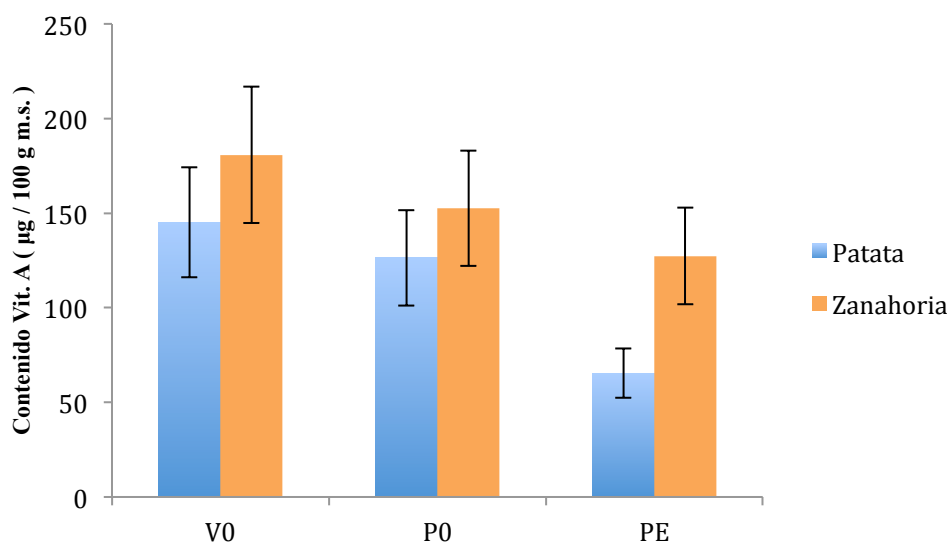


Figura 4.4. Contenido de vitamina A en forma de retinol ($\mu\text{g}/100\text{ g}$ extracto seco) de muestras de harinas obtenidas de larvas de *T. molitor* alimentadas a base de patata o zanahoria y con distintos tratamientos (V0: alimentado sin pescado y sin escaldado; P0: con pescado y sin escaldado; PE: Con pescado y con escaldado previo al secado).

Por tanto, el suministro de zanahoria a larvas de *T. molitor* parece que incrementa el contenido de esta vitamina en la harina en comparación con la de insectos alimentados con patata. De confirmarse con un mayor número de repeticiones, estos resultados constituirían una nueva evidencia de la modificación del contenido nutricional de *T. molitor* a través de la dieta, como también se ha demostrado con otros nutrientes y en otros insectos (Henry, Gasco, Piccolo, y Fountoulaki, 2015; Hunt et al., 2001).

4.3.1 Pardeamiento

Al deshidratar las muestras de *T. molitor* para su análisis posterior se comprobó que las mismas sufrían un fuerte pardeamiento y se tornaban negras. Se probó a escaldar las larvas en agua hirviendo durante seis minutos observándose una inhibición muy significativa de dicho pardeamiento (Figura 4.5). Esta diferencia de color se mantuvo al moler las muestras y a lo largo de los días.

Se cuantificó el color de las harinas obtenidas a partir de las larvas deshidratadas y se realizó un T. Test para afirmar que existía una diferencia muy significativa entre las luminosidades. Las harinas no escaldadas obtuvieron valores de $11,41 \pm 1,21$ unidades de L^* , mientras que las harinas de gusanos que sí fueron escaldadas previamente lograron un L^* de $40,96 \pm 0,60$.



Figura 4.5. Larvas deshidratadas durante 48h a 50°C. A la izquierda las larvas que habían sufrido un escaldado previo y a la derecha los que habían sido deshidratados directamente.

Las muestras trituradas o las harinas además de presentar colores diferentes, también presentaban una textura diferente. Las harinas eran oleosas cuando el insecto no había sido escaldado a diferencia de las larvas que sí habían sufrido un escaldado previo, que presentaban un aspecto más pulvurulento, como se muestra en la figura 4.6. Así mismo, los insectos triturados que no habían sufrido un escaldado previo desprendían un olor fuerte y desagradable, cosa que no hacían las harinas de las larvas escaldadas.

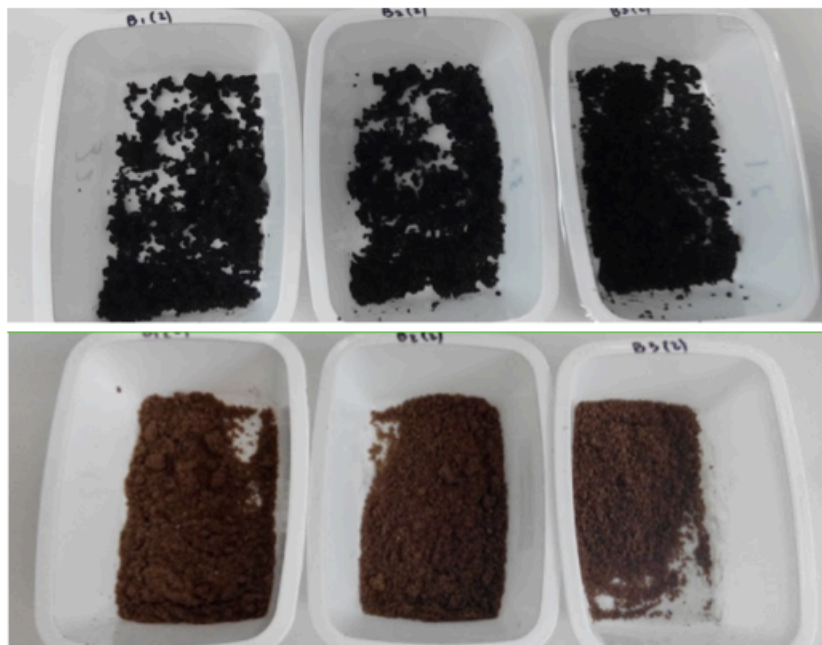


Figura 4.6. Harinas de *T. molitor* deshidratado. Arriba, sin tratamiento previo al secado; abajo, con escaldado previo.

Una vez obtenidos estos resultados se decidió estudiar el fenómeno del pardeamiento. Por un lado se decidió evaluar la cinética del pardeamiento durante su

deshidratación a distintas temperaturas. Y por otro lado se decidió tratar de caracterizar la inhibición del pardeamiento mediante escaldado en agua hirviendo.

No se han encontrado referencias bibliográficas en las que se haya analizado el pardeamiento que sufren los insectos, aunque Yi *et al* (año) describió este cambio de color al procesar *T. molitor* y sugirió que se trataba de un pardeamiento enzimático. Este mismo estudio proponía la adición de bisulfito o de ácido ascórbico para prevenir este pardeamiento en el proceso de extracción de proteínas, inhibiendo o inactivando así la enzima responsable, polifenol oxidasa (PPO) (Tzompa-Sosa et al., 2014). Así mismo, un tratamiento térmico también inhibe la acción de la PPO (Mizobutsi et al., 2010), evitando así el pardeamiento.

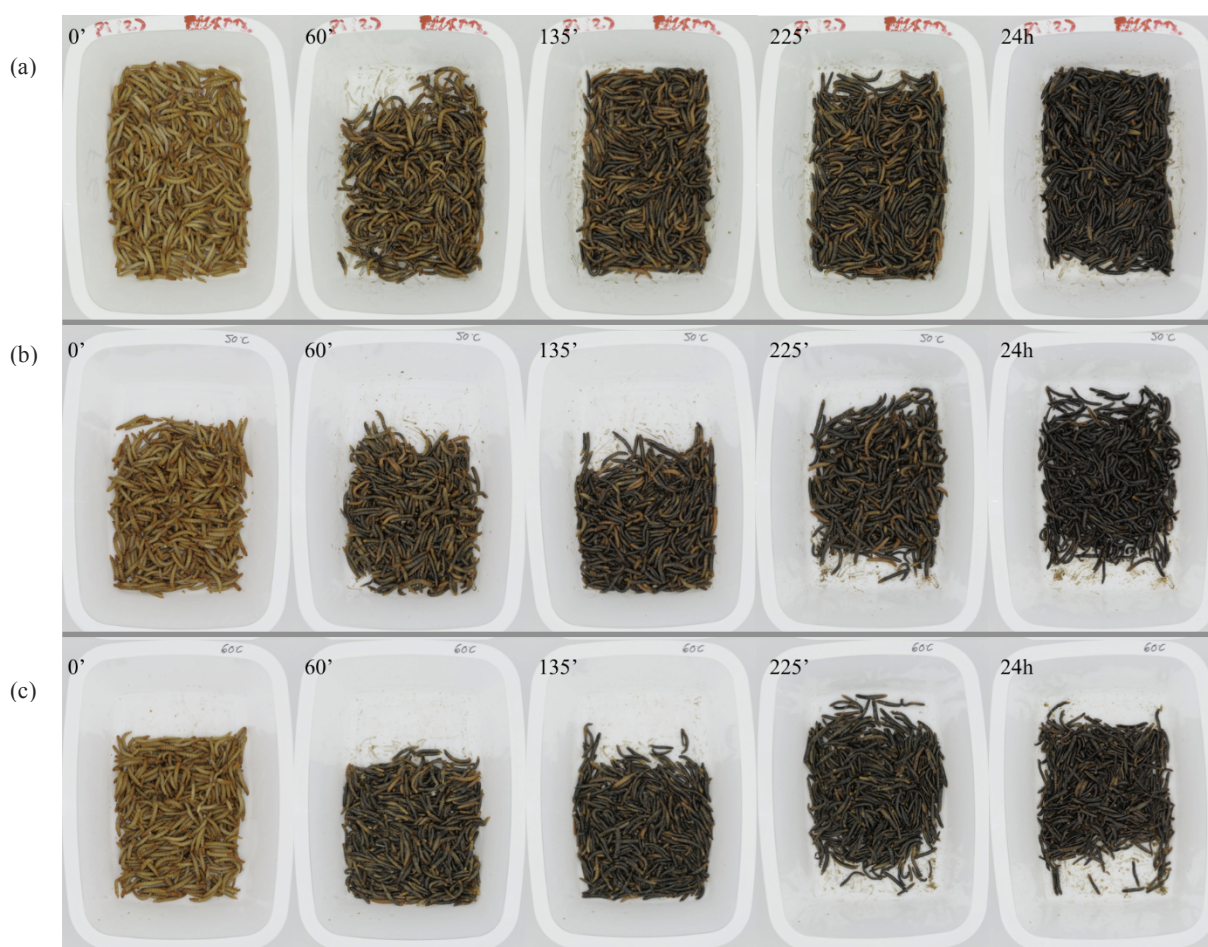


Figura 4.7 Aspecto de las larvas a lo largo del tiempo en el proceso de secado. (a) Secado a 40°C; (b) a 50°C y (c) a 60°C.

Partiendo del mismo grupo de larvas, se comparó el color que adquirirían a lo largo del tiempo a diferentes temperaturas (Fig 4.7 y Fig 4.8). Aunque los gusanos secados a 60 °C mostraban un color más oscuro (menos luminosidad) durante las casi tres horas que se estuvo controlando el color, no se refleja gran diferencia entre los insectos secados a 40 y a 50 °C. Los tres tratamientos presentan una cinética similar, donde las primeras dos horas los valores de luminosidad (L^*) disminuyen desde el 35 al 20 casi constantemente y a partir de ese tiempo, esta caída de luminosidad se ralentiza, aunque en el tiempo estudiado,

ninguno llega a un valor de luminosidad estable. Esta disminución de velocidad podría deberse a que las enzimas ya no son las que actúan.

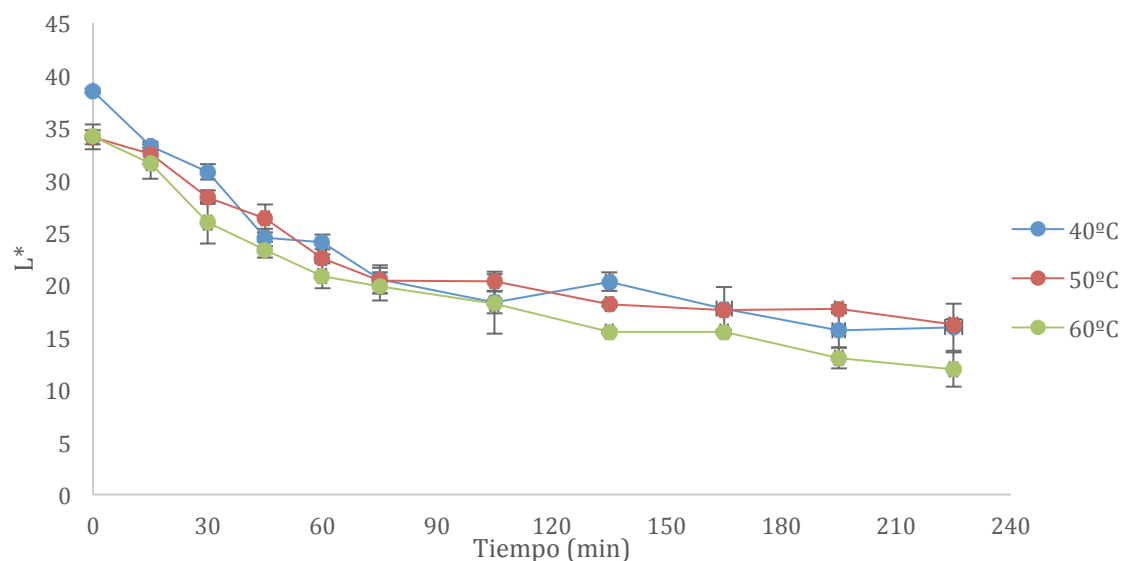


Figura 4.8. Evolución de la luminosidad de las larvas de *T. molitor* respecto al tiempo de proceso de secado en estufa a diferentes temperaturas.

Un proceso de secado podría contribuir a una liberación de enzimas y esta liberación aumentar la actividad de PPO, favoreciendo el pardeamiento. Aún así, la temperatura afectará a la actividad de esta enzima, la cual se inactivará al someterse a temperaturas $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rodrigues, Fernandes, García-Pérez y Cárcel, 2017). Por ello, las larvas se sometieron a diferentes tiempos de escaldado antes de ser secadas en la estufa con el fin de comparar la inhibición del pardeamiento que sufrían debido a este tratamiento previo.

El primer efecto observado del tratamiento de escaldado en agua en ebullición fue el de provocar un ligero pero significativo blanqueamiento de las larvas (Fig. 4.9).



Figura 4.9. Aspecto de larvas de *T. molitor* tras ser escaldadas por diferentes tiempos.

Las larvas tenían una luminosidad entorno a 40 unidades de L^* , pero todas aquellas que fueron escaldadas adquirieron valores de L^* más elevados. Al realizar un ANOVA del incremento de luminosidad según el tiempo de escaldado, se obtiene diferencias entre determinados tiempos de escaldado (Tabla 4.4.). Se podría esperar que esta cuanto mayor

fuera el tiempo de escaldado mayor fuera el incremento de L^* , pero los valores no muestran tal progresión.

Tabla 4.4. Incremento de la luminosidad de las larvas tras ser escaldadas durante diferentes tiempos.

Tiempo escaldado	ΔL^* Inicial
2	$5,04 \pm 2,20^a$
4	$0,68 \pm 1,44^b$
5	$4,20 \pm 0,93^a$
6	$2,04 \pm 3,16^{ab}$

Una vez empieza el proceso de secado todas las muestras escaldadas empiezan a perder luminosidad o, lo que es lo mismo, a oscurecerse de manera similar. Las muestras que no fueron escaldadas (denominadas “sin tratamiento”) parecen tener la misma tendencia, aunque siempre por valores más bajos de luminosidad, ya que mientras las muestras que habían sido escaldadas adquirirían un tono más blanco, estas muestras ya empezaron a pardearse, por lo que parte de niveles más bajos de luminosidad (Fig. 4.10).

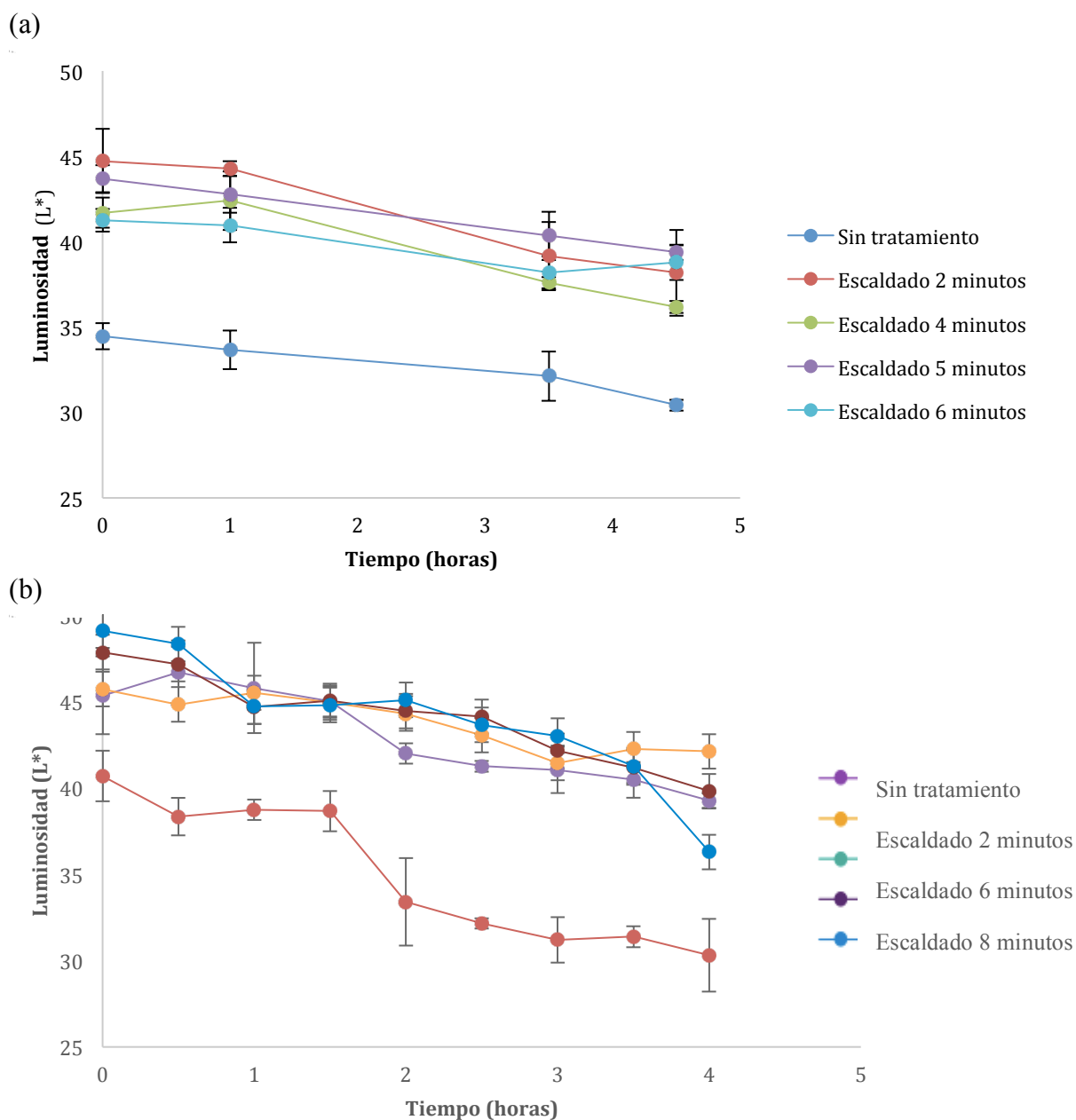


Figura 4.10. Evolución de la luminosidad durante las primeras horas de secado a 40°C de larvas sometidas a diferentes tiempos de escaldado.

Se compararon las diferencias de color (de los tres ejes del espacio CIELAB, L^* , a^* y b^*) de las larvas tras 24 horas de secado (Tabla 4.5.). Los valores denominados “ L^* iniciales” se refieren a los valores de las larvas al inicio del proceso de secado, por lo que las muestras que no fueron escaldadas presentan valores 5 – 10 puntos más bajos debido a que no sufren el “blanqueado” anteriormente señalado. Respecto a los valores finales obtenidos, cabe destacar que mientras los insectos que no habían sido escaldados se

oscurecieron hasta valores de L^* de $20,93 \pm 1,74$, los insectos que sí habían sido escaldadas reflejan valores mayores. Estas últimas larvas obtuvieron valores de L^* de entre 10 y hasta 20 puntos más altos que las harinas no escaldadas (media de $33,30 \pm 5,56$ valores de L^*). Las muestras de los insectos que habían sido escaldados durante 6, 8 y 10 minutos se aproximaban a los 40 puntos de L^* ($39,20 \pm 0,94$; Tabla 4.5. (b)), valores que alcanzaban las larvas antes de ser escaldadas y deshidratadas.

Tabla 4.5. Valores iniciales, finales y diferencias de color de las larvas tras 24 horas de secado a 40°C

(a)

Tiempo de escaldado	L^* Inicial	L^* Final	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
0	$34,46 \pm 0,77^a$	$19,07 \pm 0,23^a$	$-15,39 \pm 1,21^a$	$-3,94 \pm 1,46^a$	$-15,73 \pm 2,44^a$	$22,49 \pm 1,03^c$
2	$44,73 \pm 1,89^d$	$29,94 \pm 0,65^c$	$-14,79 \pm 1,57^a$	$-0,31 \pm 0,71^b$	$9,47 \pm 1,56^{bc}$	$17,59 \pm 1,55^b$
4	$41,69 \pm 0,88^{bc}$	$24,87 \pm 0,83^b$	$-16,82 \pm 1,47^a$	$-0,53 \pm 1,09^b$	$-11,58 \pm 1,29^b$	$20,50 \pm 0,70^{bc}$
5	$43,69 \pm 0,80^{cd}$	$28,17 \pm 1,38^c$	$-15,52 \pm 2,53^a$	$-0,34 \pm 1,01^b$	$-8,88 \pm 2,25^{bc}$	$18,06 \pm 2,59^b$
6	$41,26 \pm 0,66^b$	$32,09 \pm 1,15^d$	$-9,17 \pm 2,18^b$	$-0,79 \pm 0,12^b$	$-6,34 \pm 0,67^c$	$11,24 \pm 2,10^a$

(b)

Tiempo de escaldado	L^* Inicial	L^* Final	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
0	$40,67 \pm 1,46^a$	$22,16 \pm 0,19^a$	$-18,51 \pm 1,10^a$	$-8,18 \pm 0,47^a$	$-19,48 \pm 0,42^a$	$28,09 \pm 0,88^a$
2	$45,35 \pm 2,25^b$	$33,72 \pm 1,11^b$	$11,63 \pm 2,68^b$	$4,54 \pm 0,56^b$	$9,34 \pm 1,11^b$	$15,69 \pm 3,00^b$
6	$45,71 \pm 2,21^b$	$38,11 \pm 1,38^c$	$-7,60 \pm 0,68^c$	$-0,90 \pm 0,48^c$	$-1,89 \pm 1,10^c$	$7,93 \pm 1,05^c$
8	$47,85 \pm 2,12^{bc}$	$39,80 \pm 2,07^c$	$-8,05 \pm 0,98^b$	$-0,08 \pm 0,60^{cd}$	$-1,71 \pm 0,55^c$	$8,28 \pm 1,09^c$
10	$49,09 \pm 0,38^c$	$39,68 \pm 0,14^c$	$-9,41 \pm 0,39^{bc}$	$0,52 \pm 0,69^d$	$-0,43 \pm 1,11^c$	$9,52 \pm 0,47^c$

Los valores de la diferencia de luminosidad (ΔL^*) muestran como todos ellos oscurecen entorno a 10 - 16 unidades, aunque mientras las larvas que no habían sido escaldadas pierden alrededor de 17 puntos de L^* ($16,95 \pm 2,12$), los que han sufrido un escaldado de 6, 8 o 10 minutos pierden unas 9 unidades de luminosidad ($9,08 \pm 0,92$), algo más de la mitad. Así pues, las larvas que habían sido escaldadas finalizan el secado con valores de luminosidad más altos que los que no han sido escaldados. Esto se debe a que además de comenzar el secado con valores de L^* más altos debido al “blanqueado”, también presentan menos pérdida de valores de L^* a lo largo del tiempo de secado.

En lo referente a la cromaticidad, los valores obtenidos de b^* reflejan que las muestras tienden a adquirir un color más amarillento (pierde valores de b , hacia b más negativo). Además, los valores de las muestras escaldadas se mantienen en el eje rojizo (mantienen los valores a^* positivos), ya que no hay diferencias significativas entre a^* inicial y tras 24 horas de secado. Aún así, aquellos gusanos que no fueron escaldados adquirieron tonalidades más rojizas. Los cambios de cromaticidad, tanto en a^* como en b^* , son más visibles cuanto menos tiempo de escaldado han sufrido los gusanos, teniendo una diferencia de hasta 8 y 19 puntos frente a un diferencia de entre 0 y 0,5 puntos para a^* y b^* respectivamente.

Para globalizar el cambio de color existe el parámetro ΔE^* , que también muestra cómo los gusanos sin escaldar sufren mayores cambios en el color que los que han sido escaldados (diferencia de 25 unidades frente a los 8 – 15 puntos de los gusanos que habían sido escaldados durante 6, 8 o 10 minutos). Aún así, no se observan grandes cambios entre los gusanos que han sido escaldados por tiempos diferentes, ya son pocas las diferencias significativas que existen entre ellos y, estas, no se repiten de un ensayo a otro. Es decir, cuando las larvas de las que parte el ensayo son diferentes, las diferencias obtenidas entre las muestras escaldadas no coinciden.

Las medidas recogidas en las figuras y tablas precedentes se realizaron sobre las larvas. A simple vista se aprecia que el color de las mismas cuenta con cierta heterogeneidad. Para complementar las medidas anteriores se molieron las larvas una vez secadas durante 24 h y se analizó el color de las harinas resultantes, que presentaron una apariencia y color más homogéneo (Fig. 4.11). No todos los valores obtenidos se asemejan a los valores recogidos de las larvas enteras (Tabla 4.5).

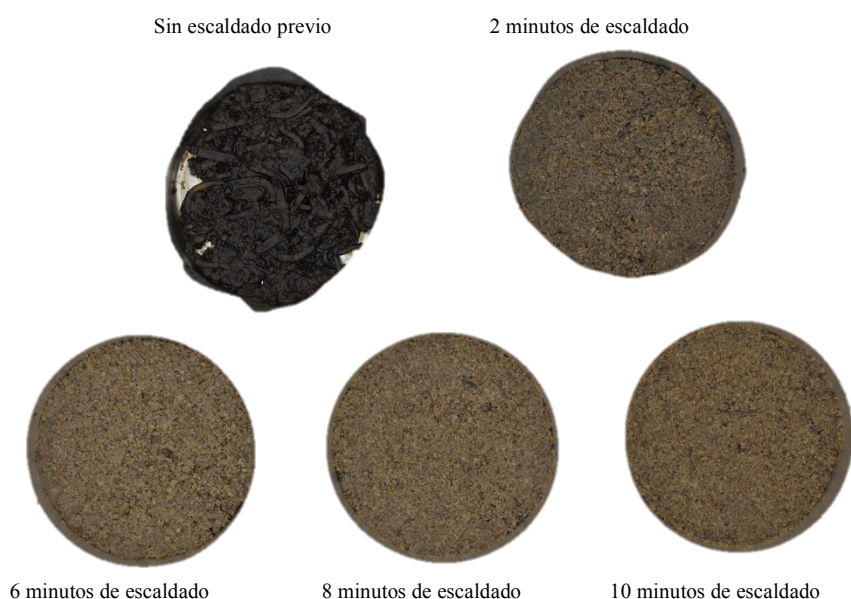


Figura 4.11. Harinas resultantes al moler larvas escaldadas durante distintos tiempos

Los diferencia entre los valores de luminosidad de la harina de insectos sin tratar y de los escaldados sigue siendo clara e incluso más notoria, ya que la “harina” resultante de las larvas que no sufrieron escaldado presentaron un color de hasta 7 unidades de L* menos luminoso que el obtenido directamente de las larvas. Así mismo, mientras que la luminosidad de las larvas enteras en las muestras escaldadas durante 6, 8 y 10 minutos no presentaban diferencias significativas, en este caso se diferencian entre sí. Aún así, siguen manteniendo valores de entorno a 39 L*.

Tanto los valores de a* como los de b* adoptan un incremento progresivo. Es decir, partiendo de los gusanos de la harina sin escaldado, cuanto mayor es el tiempo de escaldado que se les aplica antes del secado mayores valores de a* y b* alcanzan, por lo que se vuelven más rojizo y amarillento a la vez. Los insectos escaldados y sin escaldar muestran diferencias de 2 puntos en a*, por lo que aunque tiendan a rojo cuanto más tiempo se escalden, es el tono azul-amarillo (b*) el que más varía (aproximadamente 9 puntos entre los no escaldados y los escaldados 2 minutos y 13 valores de b* entre los no y los escaldados 10 minutos).

Tabla 4.5. Valores de los parámetros de color (CieLAB) medidos a harinas de larvas de *T. molitor* escaldadas durante diferentes tiempos antes del proceso de secado.

Tiempo de escaldado	Luminosidad	a*	b*
0	15,36 ± 0,54 ^a	6,93 ± 0,22 ^a	3,71 ± 0,24 ^a
2	32,78 ± 0,34 ^b	6,96 ± 0,13 ^a	12,47 ± 0,47 ^b
6	39,32 ± 0,24 ^e	8,01 ± 0,11 ^b	15,66 ± 0,22 ^c
8	38,34 ± 0,16 ^d	8,65 ± 0,13 ^c	15,74 ± 0,07 ^c
10	36,69 ± 0,25 ^c	9,03 ± 0,22 ^d	16,71 ± 0,55 ^d

5 CONCLUSIONES

Las dietas a largo plazo a base de diferentes desechos vegetales (zanahoria y brócoli) no parecen afectar negativamente al desarrollo de las larvas de *T. molitor*, al igual que no lo hace el suministro de pescado durante 24 h, por lo que podrían utilizarse para su cría masiva.

Las mismas dietas tampoco parecen influir en la tasa de conversión de alimento de este insecto, aunque serían necesarios nuevos ensayos para confirmar estos resultados. La alta tasa de conversión de *T. molitor* en desechos alimenticios subrayaría la capacidad de *T. molitor* como especie bioconversora que puede ser incluida en sistemas de economía circular y constituirse en una especie alternativa al ganado convencional.

Las diferentes verduras parecen afectar al color de las larvas vivas y, como consecuencia, a las propiedades organolépticas de las larvas comestibles, que podrían tener diferente grado de aceptación por los consumidores y es un fenómeno que se recomienda investigar con mayor profundidad.

Las distintas dietas estudiadas no afectan a la humedad de las larvas vivas y, por consiguiente, tampoco a la de las harinas obtenidas, así como al contenido lipídico. No obstante, la presencia de pescado azul en la dieta incrementa el contenido de lípidos en la harina, incluso aunque el pescado se haya introducido durante sólo 24 h.

La presencia de zanahoria en la dieta de *T. molitor* parece aumentar el contenido de vitamina A en las harinas de este insecto, por lo que la vitamina A contenida en los desechos de zanahoria podría ser recuperada y reciclada por las larvas, aunque harían falta más datos que confirmen estos resultados.

El escaldado blanquea las larvas de *T. molitor*, pero no de forma proporcional al tiempo de escaldado y, aunque disminuye el pardeamiento que sufren las larvas al secarse, no lo inhibe en su totalidad. Tiempos de escaldado superiores a 6 minutos muestran mayor efectividad de inhibición del pardeamiento que tiempos menores.

Además de inhibir el pardeamiento, el escaldado mejora la textura de la harina de insectos obtenida y disminuye o inhibe el olor que esta desprende.

Los datos de la tasa de conversión verifican la capacidad de *T. molitor* para alimentarse a base de desechos, lo que conlleva una reducción de materia orgánica que contribuye a una economía circular y una cría más sostenible que el ganado convencional.

La influencia de la dieta de *T. molitor* puede suponer una herramienta para modificar su contenido nutricional dependiendo del propósito de su cría. Así, se podrían lograr insectos de mayor valor nutricional como alimento, tanto para pienso como para consumo humano además de equilibrar sus carencias nutricionales (como el de la vitamina A), haciendo de él un alimento más completo y apto para ser valorado en el patrón de consumo alimentario de hoy en día.

Además, la influencia del proceso de escaldado en la inhibición del pardeamiento de las larvas de *T. molitor* proporciona la posibilidad de conseguir harinas de insecto más atractivas para el consumidor (humano o animal), o por lo menos, evitar el rechazo que causa por sus características organolépticas (color y olor). Asimismo, las harinas obtenidas de larvas que habían sufrido un escaldado presentan una textura más adecuada para su uso tecnológico.

- Adámková, A., Kourimská, L., Borkovcová, M., Kulma, M., y Mlček, J. (2016). Nutritional values of edible Coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. *Potravinárstvo*, 10(1), 663-671. doi:10.5219/609
- Al-Qazzaz, M. F. A., Ismail, D., Akit, H., y Idris, L. H. (2016). Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 518-523.
- Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., y Rounsevell, M. D. A. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001>
- Alves, A. V., Sanjinez-Argandoña, E. J., Linzmeier, A. M., Cardoso, C. A. L., y Macedo, M. L. R. (2016). Food Value of Mealworm Grown on *Acrocomia aculeata* Pulp Flour. *PLOS ONE*, 11(3), e0151275. doi:10.1371/journal.pone.0151275
- BEDCA. (2017). Base de Datos Española de Composición de Alimentos. from BEDCA y Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Retrieved from <http://www.bedca.net/bdpub/index.php>
- Bijl, D. L., Bogaart, P. W., Dekker, S. C., Stehfest, E., de Vries, B. J. M., y van Vuuren, D. P. (2017). A physically-based model of long-term food demand. *Global Environmental Change*, 45, 47-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.04.003>
- FAO. (2009). *The State of Food and Agriculture. Livestock in the balance*. Rome, Italy: Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division.
- FAO. (2017a). Edible Insects Stakeholders Directory (Version 2.0). Retrieved from <http://www.fao.org/edible-insects/stakeholder-directory/en/>
- FAO. (2017b). FAO/INFOODS Database for Pulses on Dry Matter Basis Version 1.0. from FAO
- FAO, y WUR. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Rome: FAO.
- Flachowsky, G., Meyer, U., y Südekum, K.-H. (2017). Land Use for Edible Protein of Animal Origin—A Review. *Animals*, 7(3). doi:10.3390/ani7030025
- Gahukar, R. T. (2016). Chapter 4 - Edible Insects Farming: Efficiency and Impact on Family Livelihood, Food Security, and Environment Compared With Livestock and Crops A2 - Dossey, Aaron T. In J. A. Morales-Ramos y M. G. Rojas (Eds.), *Insects as Sustainable Food Ingredients* (pp. 85-111). San Diego: Academic Press.
- Garrucho, N. T. (2017). *Tenebrio molitor for food or feed: Rearing conditions and the effect of pesticides on its performance.*, Politécnico de Coimbra, Portugal.
- Grau, T., Vilcinskas, A., y Joop, G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed *Zeitschrift für Naturforschung C* (Vol. 72, pp. 337).
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., y Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203(1), 1-22. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001
- Houbraken, M., Sprangers, T., De Clercq, P., Cooreman-Algoed, M., Couchement, T., De Clercq, G., . . . Spanoghe, P. (2016). Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption. *Food Chemistry*, 201(Supplement C), 264-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.097>

- Hunt, A. S., Ward, A. M., y Ferguson, G. (2001). *Effects of a high calcium diet on gut loading in varying ages of crickets (Acheta domestica) and mealworms (Tenebrio molitor)*. Paper presented at the 4th Conference on Zoo and Wildlife Nutrition, Lake Buena Vista, Florida, United States.
- Jongema, Y. (2017). List of edible insects of the world. from Wageningen University y Research
- Kim, S. Y., Park, J. B., Lee, Y. B., Yoon, H. J., Lee, K. Y., y Kim, N. J. (2015). Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 53(1), 1-5. doi:10.7852/jses.2015.53.1.1
- Koo, H.-Y., Kim, S.-G., Oh, H.-K., Kim, J.-E., Choi, D.-S., Kim, D.-I., y Kim, I. (2013). Temperature-dependent Development Model of Larvae of Mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Korean journal of applied entomology*, 52(4), 387-394. doi:10.5656/KSAE.2013.11.0.066
- Kouřimská, L., y Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22-26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
- Li, L., Stasiak, M., Li, L., Xie, B., Fu, Y., Gidzinski, D., . . . Liu, H. (2016). Rearing *Tenebrio molitor* in BLSS: Dietary fiber affects larval growth, development, and respiration characteristics. *Acta Astronautica*, 118, 130-136. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.10.003>
- Longvah, T., Mangthya, K., y Ramulu, P. (2011). Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food Chemistry*, 128(2), 400-403. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.041>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., y Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Tech.*, 197. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008
- Mariod, A. A., Saeed Mirghani, M. E., y Hussein, I. (2017). Chapter 50 - *Tenebrio molitor* Mealworm *Unconventional Oilseeds and Oil Sources* (pp. 331-336): Academic Press.
- Mizobutsi, G. P., Finger, F. L., Ribeiro, R. A., Puschmann, R., Neves, L. L. d. M., y Mota, W. F. d. (2010). Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenoloxidase activities of litchi pericarp. *Scientia Agricola*, 67, 213-217.
- Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Kay, S., Tedders, W., y Shapiro Ilan, D. I. (2012). Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 47, 208-220.
- Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Shapiro-Ilan, D. I., y Tedders, W. L. (2010). Developmental Plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): Analysis of Instar Variation in Number and Development Time under Different Diets. *Journal of Entomological Science*, 45(2), 75-90. doi:10.18474/0749-8004-45.2.75
- OMS, y FAO. (2002). Global and regional food consumption patterns and trends In OMS/FAO (Ed.), *DIET, NUTRITION AND THE PREVENTION OF CHRONIC DISEASES* (Vol. 916). Genova, Suiza: WHO technical report series.
- Oonincx, D. G., y van der Poel, A. F. (2011). Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). *Zoo Biol*, 30(1), 9-16. doi:10.1002/zoo.20308
- Oonincx, D. G. A. B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., y Van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *10*(12). doi:10.1371/journal.pone.0144601
- Pesqueira, L., Kirpeit, P., y Van Acker, Z. (2017). Vertical Farming Academy. Retrieved from <https://academy.vertical-farming.net/>

- Punzo, F. (1975). *Effects of temperature, moisture and thermal acclimation on the biology of Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae)*. Iowa State University, Retrospective Theses and Dissertations. (5438)
- Ramos-Elorduy, J., Gonzalez, E. A., Hernandez, A. R., y Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J Econ Entomol*, 95(1), 214-220.
- Rao, P. U. (1994). Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Spent Silk Worm Pupae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10), 2201-2203. doi:10.1021/jf00046a023
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Doris, A. C., Capistrano, S. R., Carpenter, K., Chopra, P. D., Thomas, . . . Zurek, M. B. (2005). *Ecosystems and human well-being : current state and trends*: Millennium Ecosystem Assessment.
- Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., García-Pérez, J. V., y Cárcel, J. A. (2017). Influence of Ultrasound-Assisted Air-Drying and Conventional Air-Drying on the Activity of Apple Enzymes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2). doi:10.1111/jfpp.12832
- Rumpold, B. A., y Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802-823. doi:10.1002/mnfr.201200735
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., y Sealey, W. M. (2007). Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *World Aquaculture Society*, 38(1). doi:10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x
- Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I. N., You, L., Zhang, J., Liu, Y., Ma, L., . . . Dong, Y. (2016). Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Research International*, 89, 129-151. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.001>
- Tzompa-Sosa, D. A., van Valenberg, H., Tzompa-Sosa, D. A., Yi, L., van Valenberg, H. J. F., van Boekel, M. A. J. S., y Lakemond, C. M. M. (2014). Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. 62, 1087-1087-1094.
- UN. (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision. *UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs*(Population Division).
- van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., y van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1-10. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu Rev Entomol.*, 58. doi:10.1146/annurev-ento-120811-153704
- Van Mierlo, K., Rohmer, S., y Gerdessen, J. C. (2017). A model for composing meat replacers: Reducing the environmental impact of our food consumption pattern while retaining its nutritional value. *Journal of Cleaner Production*, 165(Supplement C), 930-950. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.098>
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Iakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., y van Boekel, M. A. J. S. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study. Report 638. *Wageningen UR Livestock Research*.
- Yen, A. L. (2009). Edible insects: traditional knowledge or western phobia? (Special Issue: Trends on the edible insects in Korea and abroad.). *Entomol Res.*, 39. doi:10.1111/j.1748-5967.2009.00239.x